



TUGAS AKHIR - MN 141581

ANALISIS TEGANGAN PADA PENEGAR WRANG PELAT AKIBAT KEMIRINGAN PENEGAR WRANG PELAT

Robertus Bimo Pamungkas Sukoco
NRP 4114100002

Dosen Pembimbing
Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISIS TEGANGAN PADA PENEGAR WRANG PELAT
AKIBAT KEMIRINGAN PENEGAR WRANG PELAT**

**Robertus Bimo Pamungkas Sukoco
NRP 4114100002**

**Dosen Pembimbing
Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT - MN 141581

STRESS ANALYSIS OF PLATE FLOOR STIFFENER DUE TO TILTED PLATE FLOOR STIFFENER

**Robertus Bimo Pamungkas Sukoco
NRP 4114100002**

Supervisor

**Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS TEGANGAN PADA PENEGAR WRANG PELAT AKIBAT KEMIRINGAN PENEGAR WRANG PELAT

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ROBERTUS BIMO PAMUNGKAS SUKOCO
NRP 4114100002

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing II



Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.
NIP 19840921 201212 2 001

Dosen Pembimbing I



Wing Hendroprasetyo A. P., S.T., M.Eng.
NIP 19700615 199512 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ir. Wasis Dwi Arsyawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, JULI 2018

LEMBAR REVISI

ANALISIS TEGANGAN PADA PENEGAR WRANG PELAT AKIBAT KEMIRINGAN WRANG PELAT

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ROBERTUS BIMO PAMUNGKAS SUKOCO
NRP 4114100002

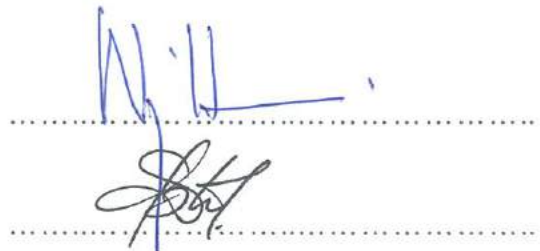
Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. I Ketut Suastika
2. Totok Yulianto, S.T., M.T.
3. Dony Setyawan, S.T., M.Eng



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Wing Hendroprasetyo A. P., S.T., M.Eng.
2. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.



SURABAYA, 19 JULI 2018

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan dukungan moral dalam pengerjaan tugas akhir ini;
2. Bapak Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing 1 atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
3. Ibu Septia Hardy Sudjiatanti, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
4. Bapak Prof. Achmad Zubaydi, S.T., M.Eng. selaku Dosen Wali yang telah memberikan dukungan dan bimbingan selama perkuliahan di Departemen Teknik Perkapalan;
5. *Stakeholder* Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember;
6. Teman-teman P54 yang telah memberikan dukungan serta kerjasama dalam seluruh kegiatan perkuliahan di Departemen Teknik Perkapalan

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Juli 2018

Robertus Bimo Pamungkas Sukoco

ANALISIS TEGANGAN PADA PENEGAR WRANG PELAT AKIBAT KEMIRINGAN PENEGAR WRANG PELAT

Nama Mahasiswa : Robertus Bimo Pamungkas Sukoco
NRP : 4114100002
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Wing Hendroprasetyo A. P., S.T., M.Eng.
2. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

ABSTRAK

Fitting yang tidak tepat pada penegar wrang pelat dan pembujur alas dalam menyebabkan terjadinya *misalignment* pada sambungan penegar wrang pelat dengan pembujur alas dalam. *Misalignment* tersebut disarankan untuk diperbaiki dengan menghilangkan las pada penegar wrang pelat sepanjang lima puluh kali jarak antara penegar wrang pelat dan pembujur alas dalam, serta membengkokkan penegar sampai menempel pada dengan pelat bilah pembujur alas dalam sehingga penegar wrang pelat mengalami kemiringan. Dengan kemiringan yang terjadi pada penegar wrang pelat tersebut, tegangan yang terjadi pada sambungan wrang pelat dan pembujur alas dalam mengalami perubahan akibat beban muatan dan beban yang diakibatkan oleh gelombang.

Perhitungan tegangan yang terjadi pada sambungan pembujur alas dalam dengan penegar wrang pelat dilakukan dengan bantuan program elemen hingga. Variasi yang dilakukan adalah model konstruksi dengan *misalignment* pada penegar wrang pelat Berpenegar *Flatbar* dan berprofil L, kedua variasi tersebut dibandingkan dengan model konstruksi tanpa *misalignment*. Pembuatan model struktur untuk perhitungan elemen hingga dilakukan dengan *software* AutoCAD.

Hasil analisis menunjukkan peningkatan tegangan akibat *misalignment* sebesar 4.864% pada konstruksi dengan penegar wrang pelat berpenegar *flatbar* dan 0.439% pada konstruksi dengan penegar wrang pelat berprofil L. Maka dapat disimpulkan bahwa peningkatan tegangan terbesar terjadi pada penegar wrang pelat *flatbar* yaitu 4.864%, dengan nilai tegangan terbesar terjadi pada penegar wrang pelat berpenegar *flatbar* dengan nilai tegangan 116.43 MPa. Tegangan yang terjadi pada model benerpenegar *flatbar* dan profil L yang mengalami *misalignment* masih jauh di bawah tegangan ijin menurut Biro Klasifikasi Indonesia yaitu 230 MPa.

Kata kunci: Penegar wrang pelat, *misalignment*, analisis tegangan, metode elemen hingga

STRESS ANALYSIS OF PLATE FLOOR STIFFENER DUE TO TILTED PLATE FLOOR STIFFENER

Author : Robertus Bimo Pamungkas Sukoco
Student Number : 4114100002
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : 1. Wing Hendroprasetyo A. P., S.T., M.Eng.
2. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

ABSTRACT

Misalignment on plate floor stiffener and inner bottom longitudinal occurred due to bad fitting process. Recommended remedial or repair is conducted by removing the weld through the length of fifty times the distance between the inner bottom longitudinal and the plate floor stiffener, and tilting the plate floor stiffener so the inner bottom longitudinal face will be welded with the plate floor stiffener. Tilted plate floor stiffener will change the stress because of inner bottom and bottom load.

Stress calculation done with finite element software. Variations are misaligned flatbar plate floor stiffener and misaligned L plate floor stiffener, all variations will be compared with non-misaligned plate floor stiffener. Structure model for finite element calculation made by AutoCAD software.

Analysis shows that misalignment in flatbar plate floor stiffener model will cause stress increase by 4.865%, and 0.439% in L plate floor stiffener model. Therefore, stress increase due to tilted flatbar plate floor stiffener is the largest. The largest stress value is 116.43 MPa at tilted flatbar plate floor stiffener. Stress occurred on both misaligned flatbar and L plate floor stiffener model still far below permissible stress according to Biro Klasifikasi Indonesia i.e. 230 MPa.

Keywords: Plate floor stiffener, misalignment, stress analysis, finite element method.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah	1
I.2. Perumusan Masalah	2
I.3. Tujuan	2
I.4. Batasan Masalah	2
I.5. Manfaat	2
I.6. Hipotesis	3
Bab II STUDI LITERATUR	5
II.1. Dasar Teori	5
II.1.1. <i>Misalignment</i>	5
II.1.2. Metode Elemen Hingga	6
II.1.3. Konvergensi Model.....	6
II.2. Tinjauan Pustaka.....	7
II.2.1. Pembebanan	8
II.2.2. Tegangan Normal Pada Material	9
II.2.3. Tegangan Geser Pada Material	10
II.2.4. Kurva Tegangan-Regangan (<i>Strain-Stress Curve</i>)	11

II.2.5. Tegangan <i>Von Misses</i>	11
II.2.6. Tegangan Ijin	12
Bab III METODOLOGI	15
III.1. Data Kapal	15
III.2. Beban Pada Struktur Kapal dan Tegangan Ijin Pada Struktur.....	17
III.3. Proses Pemodelan dan Analisis Numerik dengan <i>Finite Element Software</i>	17
III.3.1. Pemodelan Tiga Dimensi.....	17
III.3.2. Pengimporan Model Konstruksi	22
III.3.3. <i>Meshing</i>	24
III.3.4. Konvergensi Elemen Model Dengan Penegar Wrang Pelat Berpenegar	
<i>Flatbar</i>	26
III.3.5. Konvergensi Elemen Model Dengan Penegar Wrang Pelat Berprofil L ...	28
III.3.6. Pembebanan dan Pembacaan Hasil Tegangan.....	29
III.4. Bagan Alir.....	33
Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
IV.1. Hasil Analisis.....	35
IV.1.1. Model <i>Flatbar</i> Tanpa <i>Misalignment</i>	35
IV.1.2. Model <i>Flatbar</i> Dengan <i>Misalignment</i>	37
IV.1.3. Model Profil L Tanpa <i>Misalignment</i>	38
IV.1.4. Model Profil L Dengan <i>Misalignment</i>	40
IV.2. Perbandingan Hasil Analisis Pada Model <i>Flatbar</i>	42
IV.3. Perbandingan Hasil Analisis Pada Model Profil L	43
IV.4. Perbandingan Hasil Analisis Pada Model <i>Flatbar</i> Dengan Model Profil L	43
Bab V KESIMPULAN DAN SARAN	45
V.1. Kesimpulan	45
V.2. Saran	46
DAFTAR PUSTAKA.....	47
LAMPIRAN	
LAMPIRAN A PERHITUNGAN PEMBEBANAN PADA ALAS DALAM KAPAL	
LAMPIRAN B PERHITUNGAN PEMBEBANAN PADA ALAS KAPAL	
LAMPIRAN C KONVERGENSI MODEL	
LAMPIRAN D GAMBAR PENAMPANG MELINTANG KAPAL	

LAMPIRAN E PERBANDINGAN MODULUS PROFIL L DAN *FLATBAR*
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Penegar Wrang Pelat yang Mengalami Misalignment	1
Gambar II.1 Penentuan Panjang Pembengkokan Penegar Panel.....	5
Gambar II.2 Contoh Grafik Ukuran Elemen Versus Tegangan Hasil Analisis.....	7
Gambar II.3 Ilustrasi Gaya Dan Tegangan Normal	9
Gambar II.4 Ilustrasi Gaya Dan Tegangan Geser	10
Gambar II.5 Kurva Tegangan-Regangan	11
Gambar III.1 Penampang Melintang <i>Midship</i> Kapal <i>Crude Oil Tanker</i> 10.000 DWT	16
Gambar III.2 Model Konstruksi Alas Tanpa Misalignment Penegar Wrang Pelat Berupa Pelat	18
Gambar III.3 Model Konstruksi Dengan Misalignment Penegar Wrang Pelat Berupa Pelat ..	18
Gambar III.4 Detail Sambungan Penegar Wrang Pelat <i>Flatbar</i> Dengan Pembujur Alas Dalam	19
Gambar III.5 Model Konstruksi Tanpa Misalignment Dengan Penegar Wrang Pelat Profil L	19
Gambar III.6 Model Konstruksi Dengan Misalignment Penegar Wrang Pelat Profil L	20
Gambar III.7 Detail Sambungan Penegar Wrang Pelat Profil L Dengan Pembujur Alas Dalam	20
Gambar III.8 <i>File Export Option</i>	21
Gambar III.9 Pemilihan Model Konstruksi Yang Akan Diimpor Ke Dalam Format IGES	22
Gambar III.10 Tampilan Kerja <i>Static Structural</i>	22
Gambar III.11 Menu <i>Import Geometry</i>	23
Gambar III.12 <i>Generating</i> Pada Tampilan <i>Geometry</i>	23
Gambar III.13 Tampilan <i>Engineering Data</i> Untuk Menentukan Sifat Mekanik Bahan	24
Gambar III.14 Tampilan <i>Model</i>	25
Gambar III.15 Memilih Ukuran <i>Mesh</i> Yang Akan Digunakan	25
Gambar III.16 <i>Generate Mesh</i>	26
Gambar III.17 Grafik Konvergensi Model <i>Flatbar</i> Tanpa <i>Misalignment</i>	27
Gambar III.18 Grafik Konvergensi Model <i>Flatbar</i> dengan <i>Misalignment</i>	27
Gambar III.19 Grafik Konvergensi Model Profil L Tanpa <i>Misalignment</i>	28

Gambar III.20 Grafik Konvergensi Model Profil L Dengan <i>Misalignment</i>	29
Gambar III.21 Menentukan Letak, Nilai, Serta Arah Beban	30
Gambar III.22 Menentukan Kondisi Batas Pada Model Konstruksi Kapal	30
Gambar III.23 Mendefinisikan Keluaran Yang Diinginkan	31
Gambar III.24 Menjalankan Program Elemen Hingga.....	31
Gambar III.25 Fitur <i>Probe</i> Untuk Melihat Tegangan.....	32
Gambar IV.1 Model <i>Flatbar</i> Tanpa <i>Misalignment</i>	35
Gambar IV.2 Konstruksi Bagian Dalam Model <i>Flatbar</i> Tanpa <i>Misalignment</i>	36
Gambar IV.3 Hasil Pembacaan Tegangan Pada Titik A	36
Gambar IV.4 Model <i>Flatbar</i> Dengan <i>Misalignment</i>	37
Gambar IV.5 Konstruksi Bagian Dalam Model <i>Flatbar</i> Dengan <i>Misalignment</i>	37
Gambar IV.6 Hasil Pembacaan Tegangan Pada Titik A	38
Gambar IV.7 Model Profil L Tanpa <i>Misalignment</i>	39
Gambar IV.8 Konstruksi Bagian Dalam Model Profil L Tanpa <i>Misalignment</i>	39
Gambar IV.9 Hasil Pembacaan Tegangan Pada Titik A	40
Gambar IV.10 Model Profil L Dengan <i>Misalignment</i>	41
Gambar IV.11 Konstruksi Bagian Dalam Model Profil L Dengan <i>Misalignment</i>	41
Gambar IV.12 Hasil Pembacaan Tegangan Pada Titik A	42

DAFTAR TABEL

Tabel III.1 Ukuran Utama Kapal <i>Crude Oil Tanker</i> 10.000 DWT	15
Tabel IV.1 Perbandingan Tegangan Pada Model <i>Flatbar</i>	42
Tabel IV.2 Perbandingan Tegangan Pada Model Profil L	43

DAFTAR SIMBOL

σ = Tegangan normal

F = Gaya normal

A = Luas penampang

τ = Tegangan geser

V = Gaya geser

I_1 = *Stress Invariant 1*

I_2 = *Stress invariant 2*

σ_x = Tegangan normal pada sumbu x

σ_y = Tegangan normal pada sumbu y

σ_z = Tegangan normal pada sumbu z

τ_{xz} = Tegangan geser pada bidang x yang bekerja searah sumbu z

τ_{yz} = Tegangan geser pada bidang y yang bekerja searah sumbu z

τ_{zx} = Tegangan geser pada bidang x yang bekerja searah sumbu z

σ_y = Tegangan ijin

k = faktor material

R_{eH} = Titik luluh material

P_{B1} = Beban akibat gelombang dari arah samping kapal

T = Sarat *scantling* kapal

P_{O1} = Beban dinamis kapal dari arah samping kapal

y = Jarak antara *centerline* dan titik terluar dari alas

B = Lebar kapal

P_B = Beban akibat gelombang dari arah depan atau belakang kapal

P_O = Beban dinamis kapal dari arah depan atau belakang kapal

C_F = Faktor lokasi pembebanan kapal

P_i = Tekanan pada konstruksi alas dalam akibat muatan

G = Berat

V = Volume

h = Jarak dari batas bawah ruang muat sampai batas atas ruang muat

a_v = Percepatan pergerakan muatan

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Misalignment merupakan bagian dari proses pengerjaan yang buruk (*bad workmanship*) dan menjadi salah satu penyebab utama kelelahan pada struktur kapal. *Misalignment* juga menyebabkan konsentrasi tegangan tambahan pada struktur kapal. *Misalignment* pasti terjadi pada setiap kapal yang baru dibangun. *Misalignment* ini terjadi akibat *human error* maupun kesalahan akibat material yang berukuran tidak tepat. Pada galangan kapal baru, salah satu *misalignment* terjadi pada sambungan antara penegar wrang pelat dan pembujur alas dalam dan pembujur alas. Akibat fitting yang tidak tepat pada penegar wrang pelat dan pembujur, maka terjadi *misalignment* pada sambungan penegar wrang pelat dengan pembujur tersebut. *Misalignment* tersebut sering kali diatasi dengan menghilangkan las pada penegar wrang pelat sepanjang 300 mm dari pembujur alas dalam dan menggeser potongan penegar tadi pada tempat yang tepat sehingga penegar wrang pelat mengalami kemiringan. Dengan kemiringan dan *misalignment* yang terjadi pada penegar wrang pelat tersebut, tegangan yang terjadi pada sambungan wrang pelat dan pembujur alas dalam mengalami perubahan akibat beban muatan dan beban yang diakibatkan oleh gelombang. Salah satu contoh terjadinya *misalignment* pada penegar wrang pelat ditunjukkan pada Gambar I.1



Gambar I.1 Penegar Wrang Pelat yang Mengalami Misalignment

Konstruksi alas dalam merupakan salah satu komponen penting dalam kapal karena pada konstruksi alas dalam tersebut muatan ditampung. Peninjauan ulang penanggulangan masalah *misalignment* oleh galangan dengan cara tersebut perlu dilakukan terutama pada analisis tegangan yang diakibatkan oleh penegar wrang pelat yang mengalami kemiringan.

I.2. Perumusan Masalah

Bagaimana pengaruh kemiringan penegar wrang pelat akibat *misalignment* terhadap tegangan pada penegar wrang pelat?

I.3. Tujuan

Tujuan tugas akhir ini adalah mendapatkan pengaruh kemiringan penegar wrang pelat akibat *misalignment* terhadap tegangan pada penegar wrang pelat.

I.4. Batasan Masalah

Agar permasalahan dalam tugas akhir ini tidak terlalu melebar dari tujuan yang ingin dicapai, maka perlu ditentukan batasan masalah, adapun batasan permasalahan adalah sebagai berikut:

1. Tidak memperhatikan struktur selain struktur alas dalam.
2. Beban yang terjadi pada struktur adalah beban akibat muatan pada alas dalam, serta beban akibat gelombang pada alas sesuai peraturan klas Biro Klasifikasi Indonesia.
3. Akan dilakukan dua model pengujian yaitu pengujian tanpa terjadi *misalignment*, serta pengujian dengan *misalignment*.
4. Akan dilakukan dua variasi penegar wrang pelat yaitu penegar menggunakan profil L dan penegar menggunakan pelat (*flatbar*)
5. Jarak *misalignment* yang digunakan adalah sebesar 10 mm.
6. Simulasi pembebanan dilakukan dengan *finite element software package*
7. Pembebanan yang dilakukan pada simulasi dilakukan dengan asumsi terjadinya beban muatan dan muatan gelombang (*coupled*).

I.5. Manfaat

Tugas Akhir ini bermanfaat dalam menjadi pertimbangan bagi galangan dalam melakukan tindak lanjut terhadap *misalignment*.

I.6. Hipotesis

Kemiringan penegar wrang pelat akibat *misalignment* berpengaruh terhadap tegangan pada penegar wrang pelat, diperkirakan akan terjadi peningkatan tegangan pada penegar wrang pelat yang mengalami kemiringan akibat *misalignment*

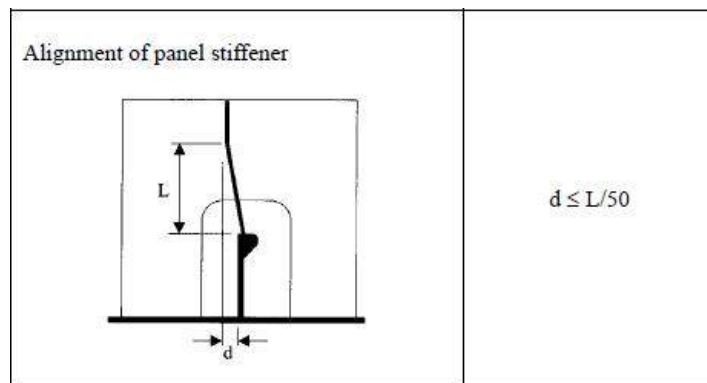
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1. Dasar Teori

Misalignment yang terjadi pada penegar panel (*panel stiffener*) diperbaiki dengan melakukan penggeseran pada penegar panel. Pada penelitian ini, penentuan panjang pembengkokan penegar wrang pelat didasari oleh *standard* yang diberikan IACS. Kutipan standar pembengkokkan yang diberikan oleh IACS terlihat pada Gambar II.1



Sumber: IACS, 2010

Gambar II.1 Penentuan Panjang Pembengkokan Penegar Panel

II.1.1. *Misalignment*

Misalignment pada pelat atau penegar merupakan sebuah kondisi ketidaklurusan antara sambungan. Pada penelitian ini, *misalignment* terjadi pada sambungan penegar wrang pelat (*solid floor*) dengan penegar alas dan penegar alas dalam. Liu et al (2016) pada jurnalnya menjelaskan bahwa *misalignment* akibat perbedaan ketebalan pelat struktur menyebabkan tegangan yang besar pada area sambungan las (*welded joint*).

Paik & Hughes (2010) pada bukunya menyatakan bahwa *misalignment* merupakan bagian dari proses pengerjaan yang buruk (*bad workmanship*) dan menjadi salah satu penyebab utama kelelahan pada struktur kapal. *Misalignment* juga menyebabkan konsentrasi tegangan tambahan pada struktur kapal.

II.1.2. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan metode numerik untuk penyelesaian masalah rekayasa dan fisika matematis. Biasanya metode elemen hingga digunakan untuk menyelesaikan analisa struktur, perpindahan panas, aliran fluida, perpindahan massa, dan potensial elektromagnetik. Untuk menyelesaikan masalah dengan geometri yang sulit, solusi analitis dirasa tidak mungkin dilakukan (Logan, 1992).

Pemilihan tipe elemen diutamakan bergantung pada tujuan dari analisis. Karakteristik dari elemen yang dipilih harus dapat merepresentasikan secara akurat terkait kekakuan dari sebuah struktur dan tegangan yang akan dianalisis. Ketika melakukan analisis tegangan, pengetahuan terkait karakteristik elemen harus memadai mengingat karakteristik elemen adalah sebuah prasyarat dari suatu pengerjaan analisis struktur (BKI, 2005).

Jenis-jenis elemen yang digunakan dalam metode elemen hingga adalah sebagai berikut:

1. *Truss elements*: elemen 1D dengan *axial stiffness*, tanpa *bending stiffness*,
2. *Beam elements*: elemen 1D dengan *axial stiffness*, *shear*, *bending*, dan *torsional stiffness*,
3. *Plane stress elements*: elemen 2D dengan *membrane stiffness*, tanpa *bending stiffness*,
4. *Plate and shell elements*: elemen 2D dengan *membrane*, *bending*, dan *torsional stiffness*,
5. *Solid elements*: elemen 3D,
6. *Boundary and spring elements*.

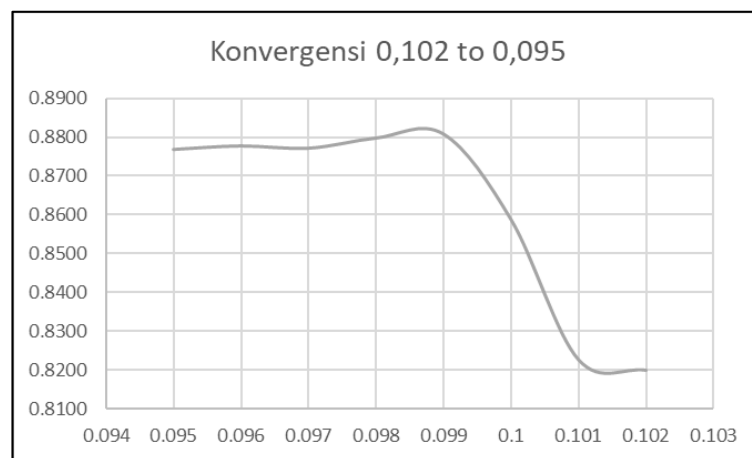
II.1.3. Konvergensi Model

Pada proses analisis struktur menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*), terdapat tahapan dimana geometri model diberikan elemen dan *node* sehingga dapat dianalisis secara matematis. Tahapan ini disebut tahapan *meshing*. Salah satu komponen penting dalam *meshing* adalah konvergensi model dimana komponen tahapan ini bertujuan untuk memastikan bahwa ukuran elemen yang digunakan tidak berpengaruh terhadap hasil analisis (NAFEMS, 2018).

Paik & Hughes (2010) pada bukunya menjelaskan bahwa ukuran elemen berpengaruh terhadap tingkat keakurasian analisis tersebut. Semakin kecil ukuran elemen, maka semakin

akurat pula tingkat keakurasian analisis elemen hingga tersebut. Penurunan ukuran elemen berarti meningkatkan jumlah elemen sehingga memakan lebih banyak waktu dan membutuhkan biaya komputasi yang lebih tinggi.

Pada praktiknya, konvergensi model dilakukan dengan membandingkan ukuran elemen atau jumlah elemen dengan tegangan hasil analisis elemen hingga dengan membuat grafik ukuran elemen versus tegangan hasil analisis. Kebijakan memilih ukuran elemen yang akan dipakai dalam proses analisis elemen hingga ditentukan dengan memilih ukuran elemen dimana tegangan hasil analisis tidak berubah bila ukuran dikurangi. Contoh grafik konvergensi model dapat dilihat pada Gambar II.2



Gambar II.2 Contoh Grafik Ukuran Elemen Versus Tegangan Hasil Analisis

Pada Gambar II.2, sumbu x merupakan ukuran elemen sedangkan grafik y merupakan tegangan hasil analisis elemen hingga. Terlihat bahwa model mulai konvergen pada ukuran elemen sekitar 0.097 m kebawah. Dengan memperhatikan kemampuan komputasi, maka ukuran elemen yang digunakan adalah 0.097 m.

II.2. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka dilakukan untuk mendapatkan acuan dari penelitian yang sudah ada sebelumnya. Beberapa literatur diantaranya adalah Roylance (2001) pada modulnya mengenai transformasi tegangan dan regangan menjelaskan bahwa sudut yang dialami oleh sebuah struktur akan mempengaruhi tegangan dan regangan yang terjadi pada struktur tersebut.

Liu et al. (2016) pada jurnalnya menjelaskan bahwa *misalignment* pada struktur pelat mempengaruhi konsentrasi tegangan pada pengelasan *butt joint*. Analisa dilakukan dengan menggunakan simulasi elemen hingga. Rudin (2012) pada jurnalnya menjelaskan bahwa *misalignment* pada pelat sisi menyebabkan peningkatan faktor intensitas tegangan sebesar dua

kali lipat. Sanjaya (2017) pada jurnalnya menjelaskan bahwa dengan modulus profil yang sama, didapatkan nilai tegangan yang berbeda pada bentuk profil yang berbeda pada *wing tank*, sedangkan nilai tegangan berbanding lurus dengan nilai deformasi atau lenturan. Putranto (2012) pada jurnalnya menyimpulkan bahwa lenturan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain modulus elastisitas, ukuran profil, tebal pelat, sistem konstruksi, dan jenis tumpuan. Ardianus (2017) pada jurnalnya menyatakan bahwa tujuan utama analisis dengan metode elemen hingga adalah memperoleh pendekatan tegangan dan perpindahan pada suatu struktur. Chabibi (2013) pada jurnalnya menyimpulkan bahwa hasil perhitungan manual dan pendekatan elemen hingga berbeda pada analisis tegangan pada *cross deck* kapal ikan katamaran.

II.2.1. Pembebanan

Pembebanan yang terjadi pada konstruksi alas serta konstruksi alas dalam merupakan beban dari muatan dan beban akibat gelombang sesuai peraturan Biro Klasifikasi Indonesia. Pembebanan pada alas dalam akibat muatan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_i = 9.81 \cdot \frac{G}{V} \cdot h (1 + a_v) \quad (\text{II.1})$$

Dimana,

P_i = Tekanan pada konstruksi alas dalam akibat muatan (kN/m^2)

G = Berat muatan pada ruang muat (kg)

V = Volume muatan pada ruang muat (m^3)

h = Jarak dari batas bawah ruang muat sampai batas atas ruang muat (m)

a_v = Percepatan pergerakan muatan (m/s^2)

Pembebanan akibat gelombang pada alas kapal dapat dibagi menjadi dua yaitu dialami akibat gelombang dari arah depan atau belakang kapal dan beban akibat gelombang dari arah samping kapal. Dari kedua beban yang telah didapatkan, beban yang digunakan untuk menghitung konstruksi merupakan beban yang terbesar (BKI, 2014).

Beban yang dialami akibat gelombang dari arah depan atau belakang kapal dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_B = 10 \cdot T \cdot P_o \cdot C_f \quad (\text{II.2})$$

Dimana,

P_B = Beban akibat gelombang dari arah depan atau belakang kapal (kN/m^2)

T = Sarat *scantling* kapal (m)

P_o = Beban dinamis kapal dari arah depan atau belakang kapal (kN/m^2)

C_F = Faktor lokasi pembebanan kapal

Beban yang dialami akibat gelombang dari arah samping kapal dapat dijelaskan pada rumus (II.3).

$$P_{B1} = 10 \cdot T \cdot P_{O1} \cdot 2 \frac{|y|}{B} \quad (\text{II.3})$$

Dimana,

P_{B1} = Beban akibat gelombang dari arah samping kapal (kN/m^2)

T = Sarat *scantling* kapal (m)

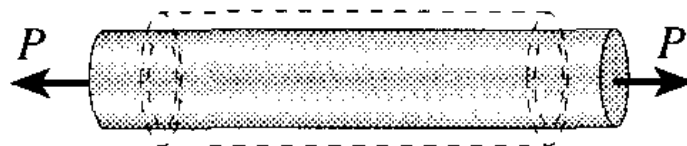
P_{O1} = Beban dinamis kapal dari arah samping kapal (kN/m^2)

y = Jarak antara *centerline* dan titik terluar dari alas (m)

B = Lebar kapal (m)

II.2.2. Tegangan Normal Pada Material

Kekuatan material merupakan kemampuan material menahan gaya yang diberikan tanpa mengalami kegagalan. Gaya yang diberikan akan menghasilkan deformasi pada material, disebut dengan regangan (*strain*). Gaya yang telah diberikan akan terdistribusi secara kontinu pada seluruh penampang. Intensitas gaya (gaya per satuan luas) disebut dengan tegangan (*stress*). Tegangan yang mempunyai arah tegak lurus dengan penampang disebut tegangan normal (*normal stress*). Dengan memperhatikan arah aksial dari gaya, tegangan normal dapat terbagi menjadi tegangan tarik (*tensile stress*) dan tegangan tekan (*compressive stress*). Ilustrasi gaya dan tegangan normal dapat dilihat pada Gambar II.3 (Gere & Timoshenko, 2000).



Sumber: Gere & Timoshenko, 2000

Gambar II.3 Ilustasi Gaya Dan Tegangan Normal

Pada gambar II.4, silinder mengalami gaya yang bekerja dengan arah tegak lurus terhadap silinder. Gaya yang bekerja dengan arah tegak lurus terhadap penampang disebut dengan gaya normal. Gaya normal tersebut seakan-akan menarik penampang silinder, sehingga gaya tersebut akan menghasilkan tegangan tarik (*tensile stress*). Bila gaya normal tersebut seakan-akan menekan penampang silinder, maka gaya normal tersebut akan menghasilkan tegangan tekan (*compressive stress*).

Dengan mengasumsikan tegangan normal terdistribusi secara merata pada penampang, didapatkan rumus tegangan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{II.4})$$

Dimana,

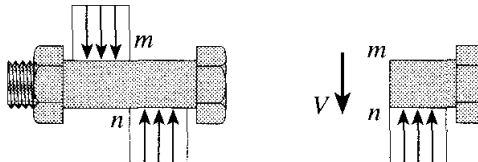
σ = Tegangan normal (N/m²)

F = Gaya normal (N)

A = Luas penampang (m²)

II.2.3. Tegangan Geser Pada Material

Tegangan geser merupakan tegangan (gaya per satuan luas) yang bekerja dengan arah tangensial terhadap penampang. Contoh tegangan geser yang bekerja pada keseharian adalah sambungan-sambungan yang menggunakan baut. Tegangan geser pada sambungan-sambungan yang menggunakan baut disebut dengan tegangan geser langsung atau tegangan geser sederhana karena tegangan geser dihasilkan oleh aksi langsung dari gaya-gaya dalam upaya memotong bahan. Tegangan geser timbul secara tidak langsung apabila elemen struktur mengalami tarik, torsi, dan lentur. Ilustrasi gaya dan tegangan geser dapat dilihat pada Gambar II.4



Sumber: Gere & Timoshenko, 2000

Gambar II.4 Ilustrasi Gaya Dan Tegangan Geser

Pada Gambar II.4, baut mengalami gaya yang bekerja dengan arah tangensial terhadap penampang baut. Gaya yang bekerja dengan arah tangensial terhadap penampang disebut dengan gaya geser. Gaya geser tersebut seakan-akan menghasilkan aksi dalam upaya memotong baut tersebut.

Dengan mengasumsikan bahwa tegangan geser terdistribusi secara merata pada penampang, maka tegangan geser dapat dirumuskan pada rumus (II.5).

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (\text{II.5})$$

Dimana,

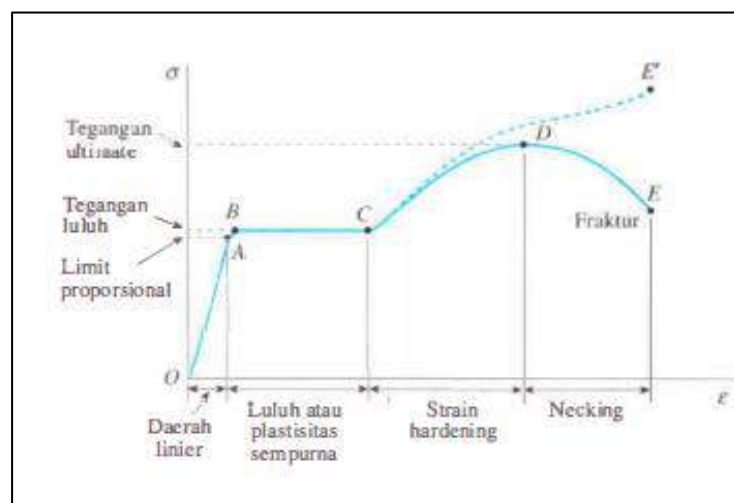
τ = Tegangan geser (N/m²)

V = Gaya geser (N)

A = Luas penampang (m^2)

II.2.4. Kurva Tegangan-Regangan (*Strain-Stress Curve*)

Kurva tegangan-regangan merupakan cara sederhana untuk menyatakan hasil pengujian tarik material dengan memplot tegangan versus regangan material. Pada kurva tegangan-regangan, karakteristik bahan yang diuji dan memberikan informasi besaran mekanis dan perilaku material. Komponen kurva tegangan-regangan dapat dilihat pada Gambar II.5



Sumber: Gere & Timoshenko, 2000
Gambar II.5 Kurva Tegangan-Regangan

Dalam kurva tegangan-regangan, terdapat dua jenis kekuatan material yaitu kekuatan luluh (*Yield Point*) serta kekuatan *ultimate* (*Ultimate Tensile Strength*). Kekuatan luluh merupakan tegangan yang dibutuhkan dalam membuat material menjadi plastis sempurna. Pada gambar II.2, kekuatan luluh ditunjukkan pada poin B. Kekuatan *ultimate* merupakan tegangan maksimum pada material, penarikan bahan lebih lanjut akan menyebabkan patah/putus pada material di titik tertentu. Pada gambar II.5, kekuatan *ultimate* ditunjukkan pada poin D. (Gere & Timoshenko, 2000)

II.2.5. Tegangan Von Misses

Tegangan *von misses* merupakan kombinasi nilai seluruh tegangan pada sistem konstruksi. Tegangan *von misses* digunakan pada analisis tegangan material ulet (*ductile*). Analisis tegangan *von misses* mendefinisikan luluh (*yield*) sebagai kegagalan (*failure*),

sehingga hasil yang didapatkan dari analisis tegangan *von misses* berupa nilai tegangan tarik pada konstruksi (Jong & Springer, 2009).

Besarnya nilai tegangan *von misses* dihitung dengan persamaan (II.6).

$$\sigma_{vm} = \sqrt{I_1^2 - 3 I_2} \quad (\text{II.6})$$

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad (\text{II.7})$$

$$I_2 = \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - \tau_{xz}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{xy}^2 \quad (\text{II.8})$$

Dimana,

I_1 = *Stress Invariant 1*

I_2 = *Stress invariant 2*

σ_x = Tegangan normal pada sumbu x

σ_y = Tegangan normal pada sumbu y

σ_z = Tegangan normal pada sumbu z

τ_{xz} = Tegangan geser pada bidang x yang bekerja searah sumbu z

τ_{yz} = Tegangan geser pada bidang y yang bekerja searah sumbu z

τ_{xy} = Tegangan geser pada bidang x yang bekerja searah sumbu z

II.2.6. Tegangan Ijin

Menurut Gere & Timonshenko (2000), tegangan ijin merupakan tegangan yang tidak boleh dilampaui sebuah sistem struktur, dimanapun letaknya akibat faktor keamanan. Secara umum tegangan ijin dirumuskan seperti pada rumus (II.9).

$$\text{Tegangan Ijin} = \frac{\text{Tegangan Luluh}}{\text{Faktor Keamanan}} \quad (\text{II.9})$$

Pada rumus (II.9), semakin tinggi faktor keamanan, semakin rendah juga tegangan ijin dari struktur. Faktor keamanan harus lebih besar dari 1.0 agar tegangan luluh dari material struktur tidak terlampaui.

Menurut Biro Klasifikasi Indonesia (2014), tegangan ijin pada struktur alas dalam kapal dirumuskan pada rumus (II.10)

$$\sigma_v = \frac{230}{k} \quad (\text{II.10})$$

$$k = \frac{235}{ReH} \quad (\text{II.11})$$

Dimana,

σ_y = Tegangan ijin (MPa)

k = faktor material

R_{eH} = Titik luluh material (MPa)

Pada rumus (II.11), disebutkan sebuah faktor yaitu R_{eH} yang merupakan titik luluh material. Disebutkan pada aturan Biro Klasifikasi Indonesia bahwa nilai $R_{eH} = 235$ MPa untuk jenis material baja struktur kekuatan normal. Baja struktur yang termasuk kedalam kategori baja struktur kekuatan normal adalah baja dengan *grade* KI-A, KI-B, KI-D, dan KI-E.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI

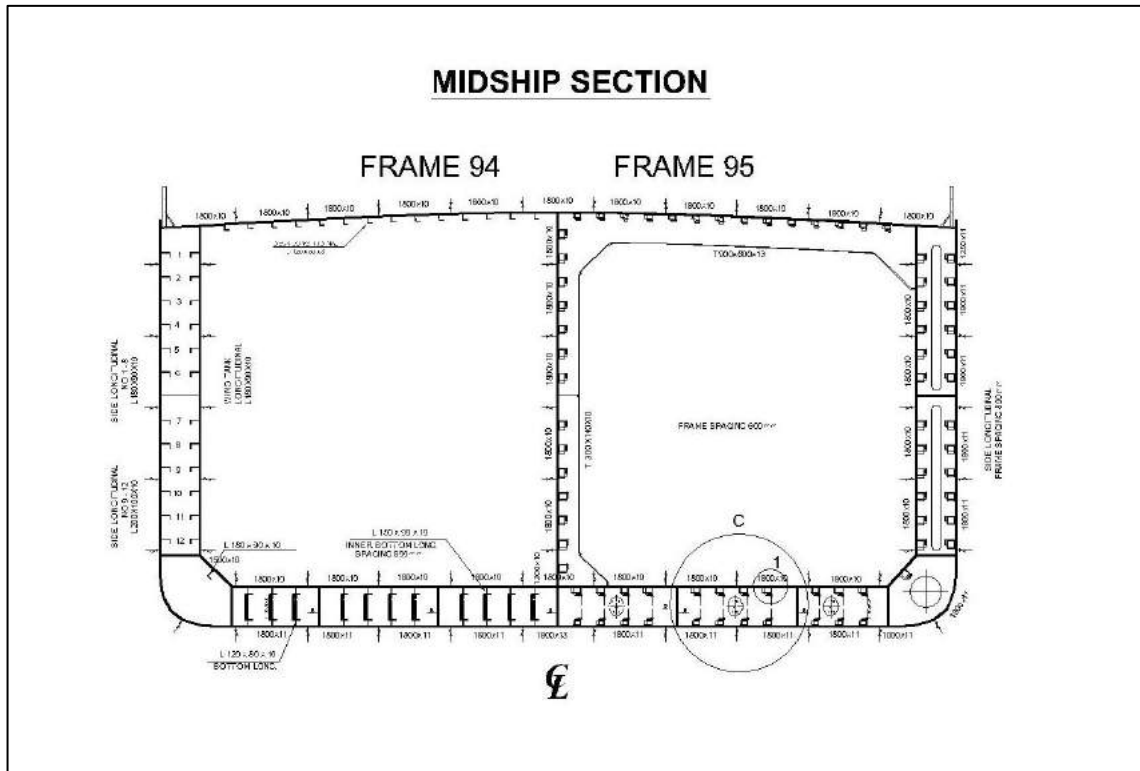
III.1. Data Kapal

Data kapal yang digunakan adalah kapal *Crude Oil Tanker* 10.000 DWT dengan keterangan dimensi utama ditunjukkan pada Tabel III.1.

Tabel III.1 Ukuran Utama Kapal *Crude Oil Tanker* 10.000 DWT

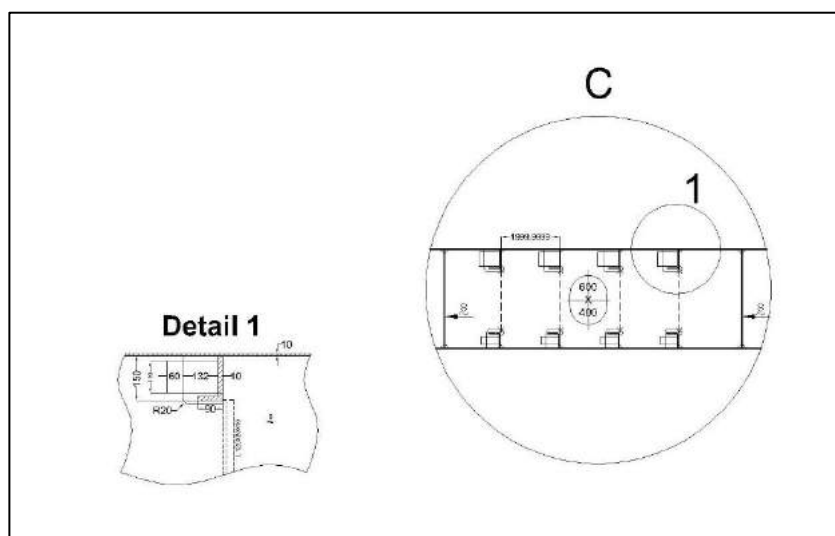
PRINCIPLE DIMENSIONS		
SHIP TYPE	OIL TANKER	
LENGTH OVER ALL (Loa)	114.4	m
LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS	110	m
BREADTH (B)	20	m
HEIGHT (H)	10.4	m
DRAUGHT (T)	8	m
SERVICE SPEED (Vs)	14	Knots
COMPLEMENT	24	Persons

Selain data ukuran utama kapal, gambar penampang melintang dibutuhkan dalam pembuatan model alas dalam. Untuk menjaga agar tidak terjadi bias pada saat pembacaan hasil, model yang digunakan hanya pada alas dalam, dengan panjang 3 m (sejarak gading besar), serta dengan lebar 4 m (jarak antar dua *side girder*). Gambar Penampang melintang kapal dapat dilihat pada Gambar III.1



Gambar III.1 Penampang Melintang *Midship* Kapal *Crude Oil Tanker* 10.000 DWT

Pada Gambar III.1 terlihat penampang melintang kapal pada daerah tengah kapal (*midship*) dimana lingkaran C menunjukan konstruksi alas dalam yang akan dimodelkan pada tahapan pengerjaan. Detail 1 menunjukan ukuran profil pembujur alas dalam kapal. Keterangan lain yang dibutuhkan dalam pembuatan model konstruksi akan dilengkapi oleh keterangan dari *rules* BKI. Gambar Detail 1 dan lingkaran C ditunjukkan pada Gambar III.2.



Gambar III.2 Detail 1 dan Detail Lingkaran C

Gambar III.2 menunjukkan detail 1 dan lingkaran C. Pada detail 1, ukuran profil pembujur alas dalam kapal ditunjukkan untuk membantu dalam proses pembuatan model. Lingkaran C menunjukkan konstruksi alas dalam antara 2 penumpu samping kapal (*side girder*). Keterangan lain yang tidak terdapat pada gambar konstruksi akan dilengkapi sesuai aturan Biro Klasifikasi Indonesia.

III.2. Beban Pada Struktur Kapal dan Tegangan Ijin Pada Struktur

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan rumus (II.3), (II.2), dan rumus (II.1), beban pada alas dalam kapal akibat muatan adalah 84.69 kN/m^2 , sedangkan beban pada alas kapal akibat gelombang adalah 99.16 kN/m^2 . Perhitungan dilakukan dengan menggunakan ukuran utama kapal. Rumus (II.10) dan (II.11) menunjukkan bahwa tegangan ijin pada struktur sebesar 230 MPa.

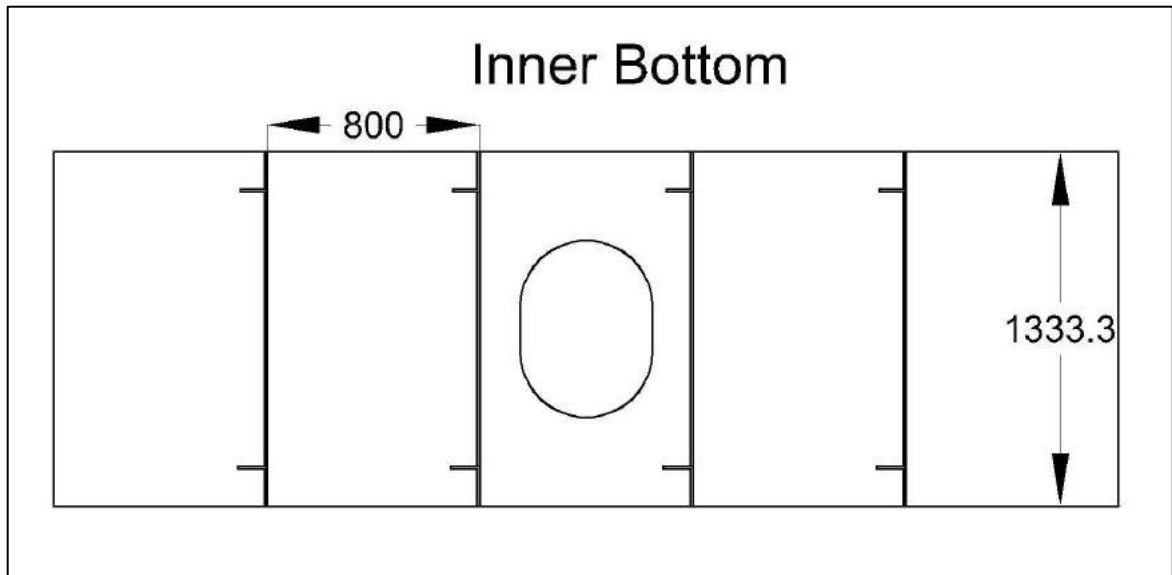
III.3. Proses Pemodelan dan Analisis Numerik dengan *Finite Element Software*

Proses pengerjaan dibagi ke dalam tiga tahap yaitu Pemodelan tiga dimensi (3D), *meshing*, serta pembebanan dan pembacaan hasil tegangan. Pemodelan tiga dimensi menggunakan *software* AutoCAD berguna untuk menggambarkan model konstruksi alas dalam yang nantinya akan diberikan pembebanan sesuai *rules* BKI Vol. 2. *Meshing* adalah proses dimana model tiga dimensi pada tahap sebelumnya diberikan elemen. Elemen yang digunakan adalah elemen *solid*. Pada proses *meshing*, terdapat proses konvergensi untuk menentukan ukuran elemen. Karena terdapat dua model konstruksi yang akan dibuat yaitu model konstruksi tanpa misalignment dan model konstruksi dengan misalignment pada penegar wrang plat, maka seluruh proses dilakukan sebanyak dua kali. Pada proses pemodelan, jarak *misalignment* yaitu jarak antara penegar wrang pelat dan pembujur alas dalam hanya satu variasi yaitu setebal penegar wrang pelat. Hal ini dikarenakan bila jarak *misalignment* kurang dari tebal penegar wrang pelat maka tidak perlu dibengkokkan karena masih bisa dilas. Jarak *misalignment* tidak bisa terlalu besar karena bila terlalu besar maka panjang pembengkokkan (*L*) terlalu besar dan tidak bisa diaplikasikan. Bila *L* terlalu besar maka disarankan untuk menghilangkan las-lasan pada penegar wrang pelat secara keseluruhan dan menggeser penegar wrang pelat.

III.3.1. Pemodelan Tiga Dimensi

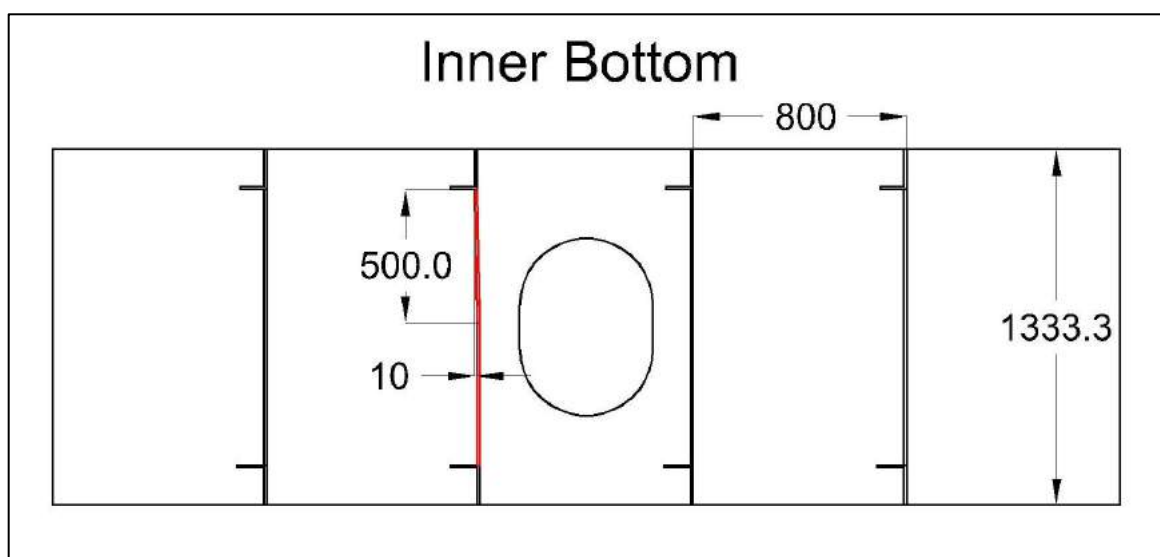
Tahap Pemodelan tiga dimensi menggunakan *software* AutoCAD berguna untuk menggambarkan model konstruksi alas dalam sedemikian rupa sehingga dapat

menggambarkan model konstruksi yang sebenarnya. Pada Gambar III.3, modulus penegar wrang pelat yang digunakan harus sama dengan modulus pembujur alas dalam. Dengan menggunakan fitur *3D Modelling* pada *software* AutoCAD, model konstruksi tanpa misalignment dapat dilihat pada Gambar III.3



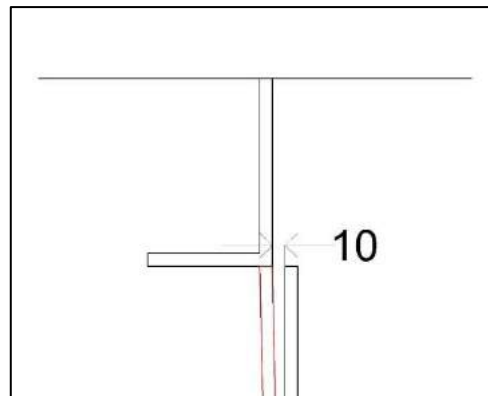
Gambar III.3 Model Konstruksi Alas Tanpa Misalignment Penegar Wrang Pelat Berupa Pelat

Pada model konstruksi dengan misalignment pada penegar wrang plat, misalignment yang digunakan (**d**) adalah sebesar 10 mm (setebal penegar wrang pelat), dengan panjang pembengkokan (**L**) sebesar 500 mm (50 kali **d**). Model konstruksi dengan misalignment pada penegar wrang pelat dapat dilihat pada Gambar III.4



Gambar III.4 Model Konstruksi Dengan Misalignment Penegar Wrang Pelat Berupa Pelat

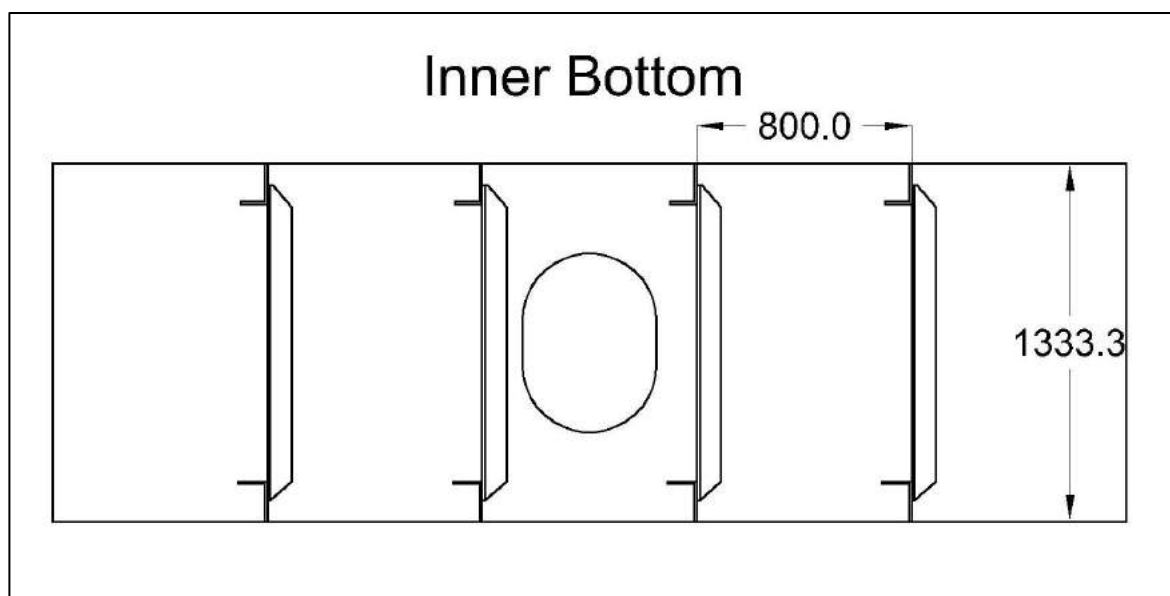
Pada Gambar III.4, terdapat pembengkokan pada penegar wrang pelat akibat *misalignment* dengan pembujur alas dalam. Penegar wrang pelat yang dibengkokkan adalah penegar wrang pelat yang berwarna merah. Pembengkokan dilakukan sepanjang 500 mm dari sambungan penegar wrang pelat dengan pembujur alas dalam ke arah bawah (negatif sumbu Y). Detail sambungan antara penegar wrang pelat dengan pembujur alas dalam ditunjukkan pada Gambar III.5.



Gambar III.5 Detail Sambungan Penegar Wrang Pelat *Flatbar* Dengan Pembujur Alas Dalam

Pada Gambar III.5, garis merah menunjukkan penegar wrang pelat yang telah dibengkokkan akibat *misalignment*. Garis hitam menunjukkan penegar wrang pelat yang belum dibengkokkan dan mengalami *misalignment*. Jarak antara penegar wrang pelat yang belum dibengkokkan dengan pembujur alas dalam adalah 10 mm.

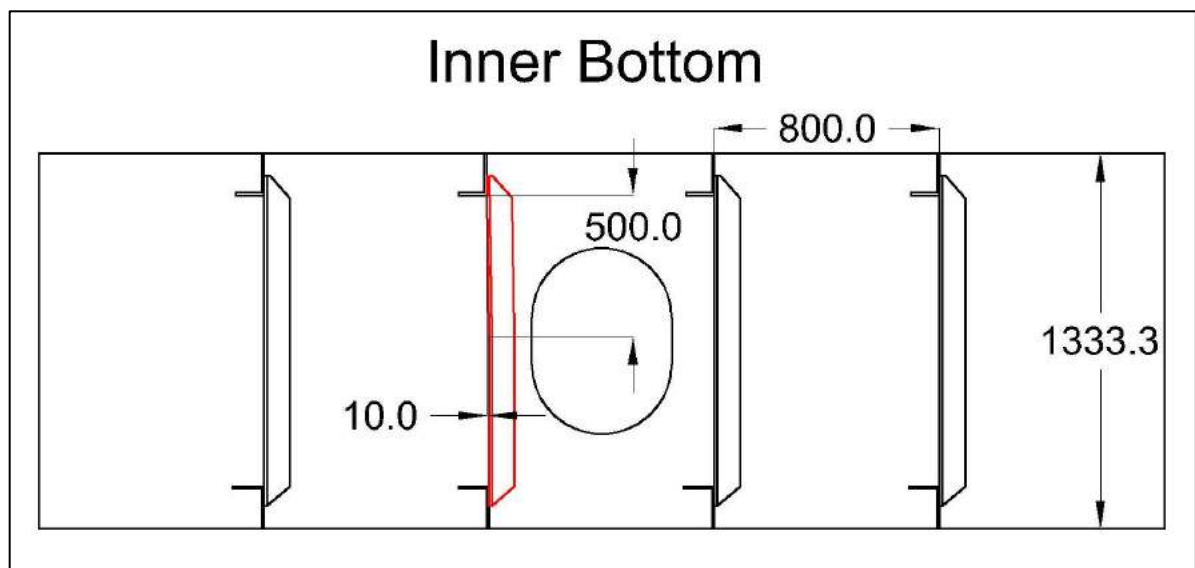
Untuk variasi penegar wrang pelat menggunakan profil L, model konstruksi tanpa *misalignment* dapat dilihat pada Gambar III.6



Gambar III.6 Model Konstruksi Tanpa Misalignment Dengan Penegar Wrang Pelat Profil L

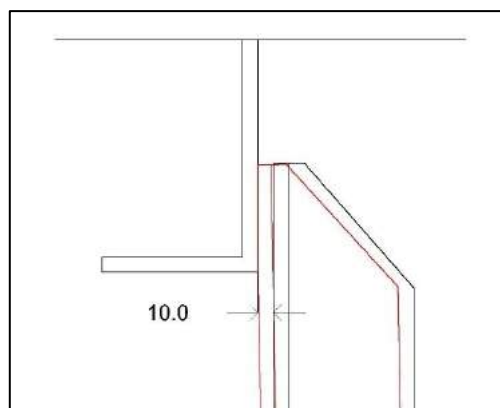
Pada Gambar III.6, penegar wrang pelat yang semula menggunakan pelat diganti menjadi profil L dengan *scantling* yang sama yang sama dengan pembujur alas dalam. Karena pembujur alas dalam berupa profil L, maka ukuran profil penegar wrang pelat sama dengan ukuran profil pembujur alas dalam. Karena pada Gambar III.6 model tanpa misalignment maka tidak terjadi pembengkokan pada penegar wrang pelat tersebut.

Model konstruksi menggunakan profil L dengan misalignment dapat dilihat pada Gambar III.7



Gambar III.7 Model Konstruksi Dengan Misalignment Penegar Wrang Pelat Profil L

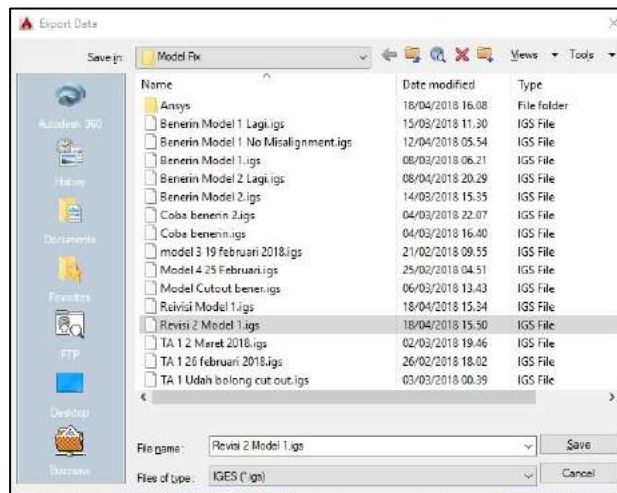
Pada Gambar III.7, penegar wrang pelat menggunakan profil L dengan ukuran profil yang sama dengan pembujur alas dalam. Misalignment yang digunakan (d) adalah 10 mm sehingga panjang pembengkokan (L) adalah 500 mm (50 kali d). Pembengkokan dilakukan dari sambungan penegar wrang pelat dengan pembujur alas dalam ke arah bawah. Detail sambungan penegar wrang pelat dengan pembujur alas dalam ditunjukkan pada Gambar III.8.



Gambar III.8 Detail Sambungan Penegar Wrang Pelat Profil L Dengan Pembujur Alas Dalam

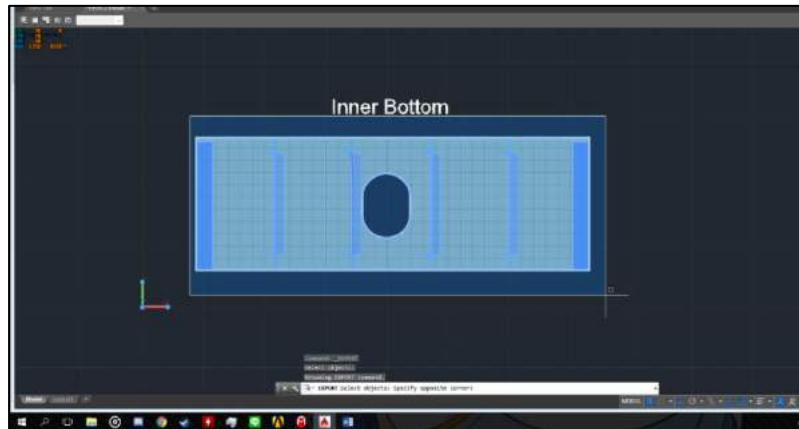
Pada Gambar III.8, garis merah menunjukkan penegar wrang pelat yang telah dibengkokkan akibat *misalignment*. Garis hitam menunjukkan penegar wrang pelat yang belum dibengkokkan. Jarak antara penegar wrang pelat yang belum dibengkokkan dengan pembujur alas dalam adalah 10 mm.

Finite Element Software Package membutuhkan format IGES (.igs) pada input, sehingga model konstruksi alas dalam diekspor ke dalam format IGES. Pengeksporan ke dalam format IGES terdapat pada File > Export > Other Format dan terlihat pada Gambar III.9.



Gambar III.9 File Export Option

Pada Gambar III.9 dapat dilihat kolom pemilihan format ekspor, sehingga dipilih format ekspor IGES (.iges). Setelah pemilihan format ditentukan, model konstruksi dipilih agar proses pengeksporan format IGES dapat dilakukan oleh *software* AutoCAD. Pada Gambar III.10, hanya gambar konstruksi alas dalam saja yang dipilih agar pada proses pengimporan model konstruksi kedalam *finite element software package* tidak terjadi eror yang tidak diinginkan.

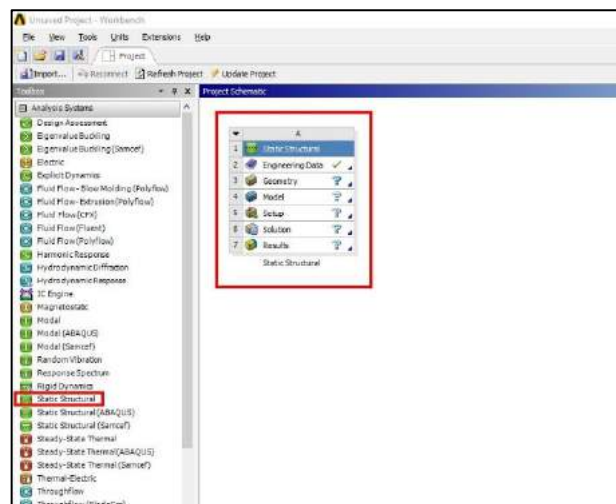


Gambar III.10 Pemilihan Model Konstruksi Yang Akan Diimpor Ke Dalam Format IGES

III.3.2. Pengimporan Model Konstruksi

Model konstruksi yang telah diekspor kedalam format IGES (.igs) dapat diimpor pada *software* elemen hingga yang akan digunakan. Setelah model diimpor ke dalam *software* elemen hingga, proses *meshing* dapat dilakukan. Tahapan pengimporan model konstruksi adalah sebagai berikut:

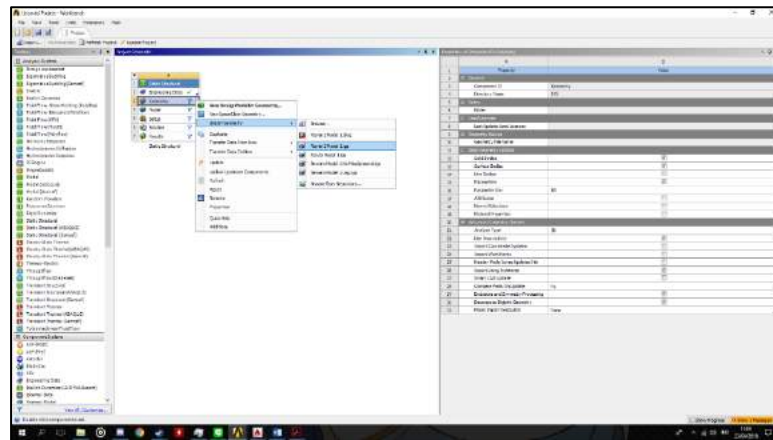
1. Membuat tampilan kerja *static structural*. Tahapan pengerjaan analisis elemen hingga akan terlihat. Tampilan kerja *static structural* dapat dilihat pada Gambar III.11



Gambar III.11 Tampilan Kerja *Static Structural*

Pada Gambar III.11 terlihat tampilan kerja *static structural*. *Static Structural* merupakan salah satu opsi keluaran dari program elemen hingga dimana pada keluaran tersebut tidak terdapat fungsi waktu, sehingga analisis tidak dapat dilihat pada waktu tertentu. Pada penelitian ini fungsi waktu tidak diperlukan sehingga *static structural* dipakai.

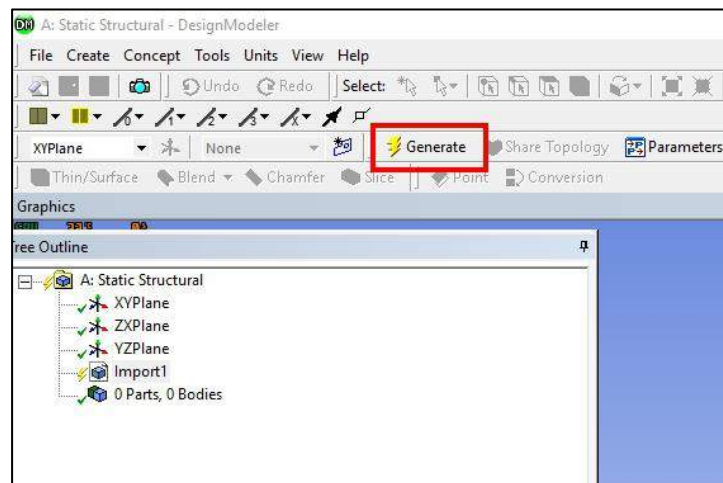
2. Mengimpor geometri yang telah dibuat pada tahap sebelumnya (tahap Pemodelan tiga dimensi) seperti pada Gambar III.12



Gambar III.12 Menu *Import Geometry*

Pada Gambar III.12 terlihat tampilan menu *import geometry*. Pada sub-bab sebelumnya disebutkan bahwa program elemen hingga membutuhkan format IGES (.iges) agar model konstruksi yang telah dibuat pada *software* AutoCAD dapat diproses oleh program elemen hingga.

3. Melakukan *generating* pada tampilan *geometry* agar model dapat terbaca oleh *software* elemen hingga. *Generating* model pada tampilan *geometry* dapat dilihat pada gambar Gambar III.13



Gambar III.13 *Generating* Pada Tampilan *Geometry*

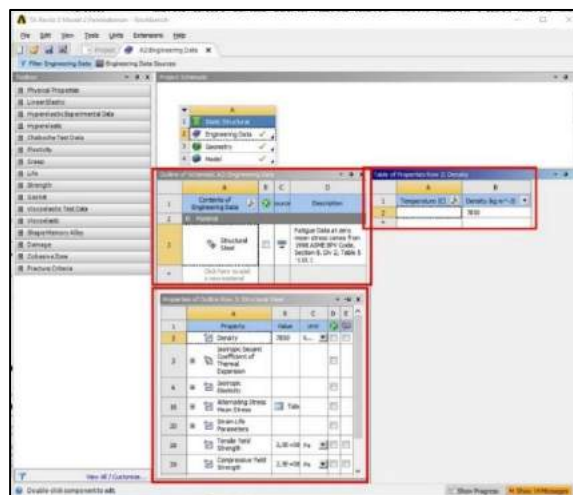
Setelah melakukan *generating* pada Gambar III.13, model konstruksi yang telah diimpor harus dilihat secara teliti agar tidak terdapat kecacatan pada model konstruksi seperti

bagian model yang tidak terimpor. Bila terjadi kecacatan pada model konstruksi, maka model harus diperbaiki dan mengulang dari proses pembuatan model konstruksi.

III.3.3. Meshing

Meshing dilakukan dengan menggunakan *finite element software package*. Karena model geometri sudah dalam bentuk tiga dimensi dan memiliki ketebalan, maka *solid element* secara otomatis akan diberikan pada model konstruksi. Pada model dengan penegar wrang pelat berprofil L, ukuran elemen pada penegar wrang pelat diatur menjadi 0.025 m untuk menjaga kestabilan hasil analisis. Tahapan *meshing* adalah sebagai berikut:

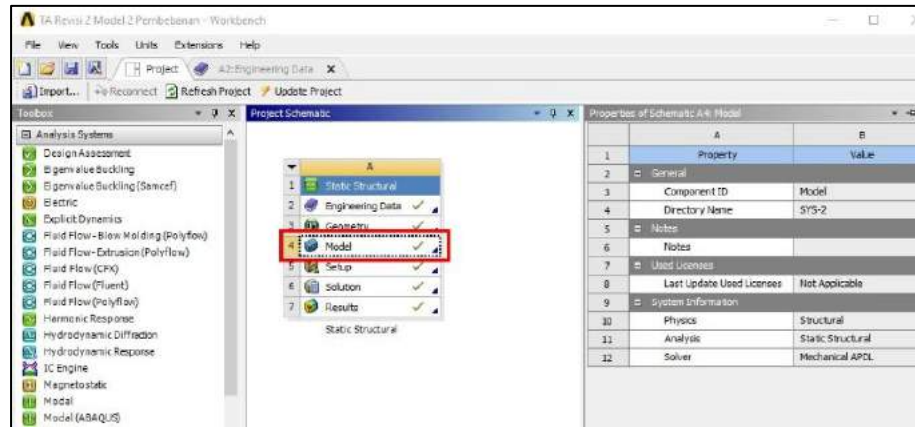
1. Menentukan sifat mekanik bahan geometri. Dilakukan pada tampilan *engineering data*. Tampilan *engineering data* terlihat pada Gambar III.14.



Gambar III.14 Tampilan *Engineering Data* Untuk Menentukan Sifat Mekanik Bahan

Sifat mekanik bahan yang digunakan pada Gambar III.14 adalah sifat mekanik yang disesuaikan dengan sifat mekanik baja karbon yang terdapat pada aturan Biro Klasifikasi Indonesia yaitu BKI *Grade* KI-A dengan kuat luluh sebesar 235 N/mm², dan kuat *ultimate* sebesar 400 – 520 N/mm² (BKI, 2017).

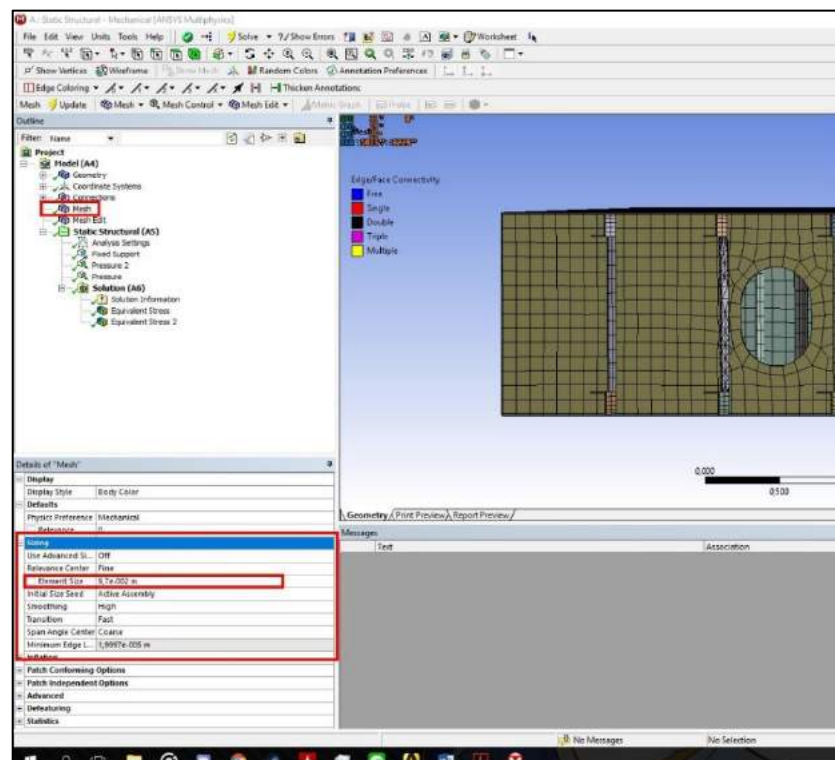
2. Memasuki tampilan *model* seperti pada Gambar III.15.



Gambar III.15 Tampilan *Model*

Pada Gambar III.15 menunjukkan tampilan kerja *static structural*, dan tampilan *model* dipilih untuk membuka. Tampilan *model* terletak tepat dibawah tampilan *geometry* yang digunakan untuk melakukan impor model konstruksi pada sub-bab sebelumnya. Tampilan *model* tidak hanya digunakan pada sub-bab *meshing* tetapi juga pada sub-bab selanjutnya.

3. Memilih ukuran *mesh* yang akan digunakan seperti terlihat pada Gambar III.16

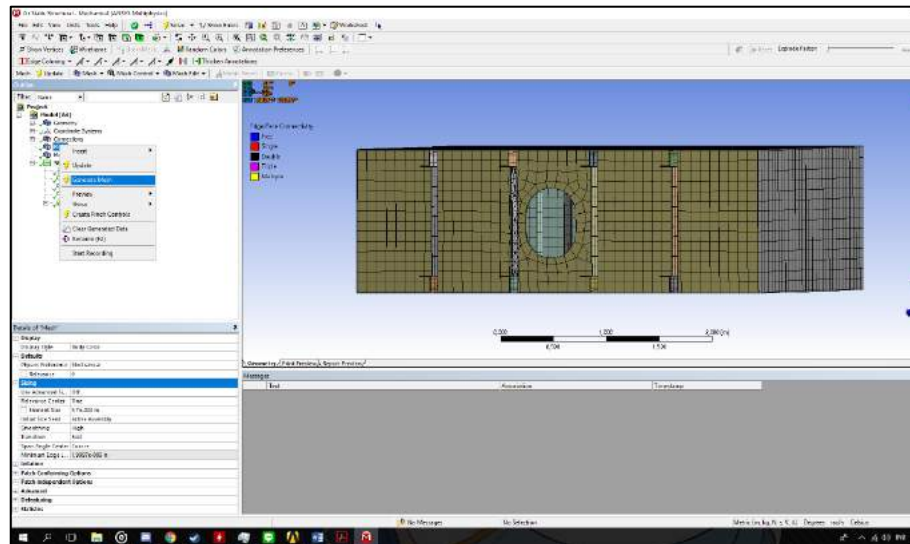


Gambar III.16 Memilih Ukuran *Mesh* Yang Akan Digunakan

Pada Gambar III.16 menunjukkan pemilihan ukuran *mesh* yang akan digunakan. Ukuran *mesh* yang digunakan mempertimbangkan bahwa ruang lingkup konstruksi yang digunakan

termasuk kecil sehingga ukuran *mesh* dapat lebih kecil. Khusus pada model konstruksi dengan penegar wrang pelat berprofil L, ukuran elemen pada penegar wrang pelat yang digunakan adalah 0.025 m agar tidak terdapat eror pada hasil analisis.

4. Melakukan *generate mesh* seperti pada Gambar III.17.

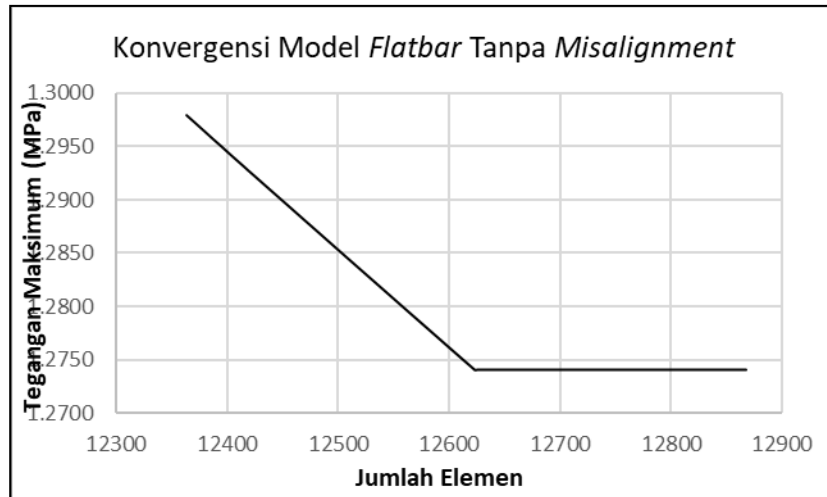


Gambar III.17 *Generate Mesh*

Gambar III.17 menunjukkan proses *generate mesh*. Pada proses ini perlu diperhatikan bahwa tidak terdapat kelebihan beban (*overload*) pada komputer yang digunakan, kebocoran atau *leak* pada *random access memory* (RAM) komputer, serta kestabilan program elemen hingga sehingga proses *generate mesh* dapat berhasil.

III.3.4. Konvergensi Elemen Model Dengan Penegar Wrang Pelat Berpenegar *Flatbar*

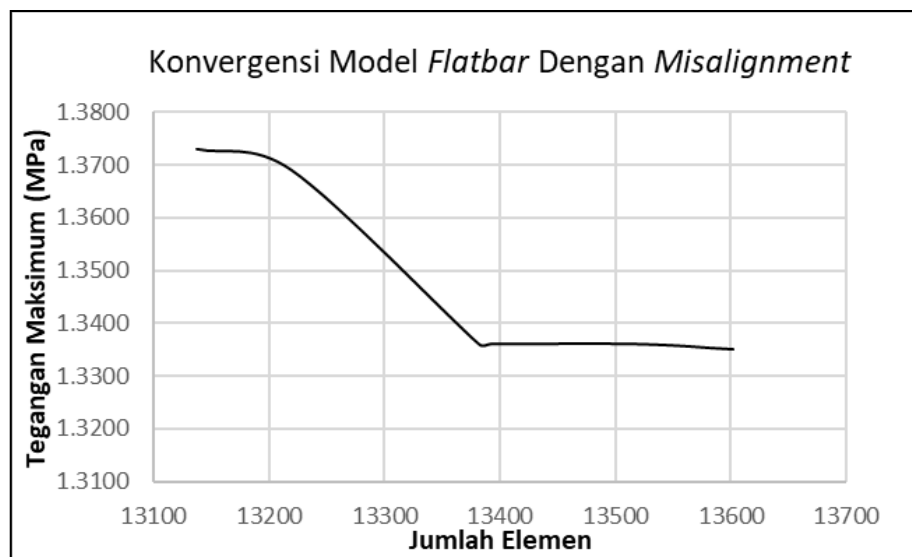
Karena terdapat dua model konstruksi yang telah dibuat, maka terdapat dua grafik konvergensi yang dihasilkan. Proses konvergensi model dilakukan dengan memberikan beban pada alas dalam sebesar 200000 N, serta memberikan kondisi batas pada kedua *side girder* kiri dan kanan model. Konvergensi model dilakukan pada ukuran elemen mulai dari 0.088 m sampai 0.085 m untuk kedua model. Khusus pada penegar wrang pelat, ukuran elemen yang digunakan adalah 0.025 m. Grafik hasil konvergensi model pada model konstruksi tanpa *misalignment* dapat dilihat pada Gambar III.18



Gambar III.18 Grafik Konvergensi Model *Flatbar* Tanpa *Misalignment*

Pada Gambar III.18 terlihat bahwa model konstruksi tanpa *misalignment* mulai konvergen pada jumlah elemen sekitar 12620 elemen sampai seterusnya. Dengan memperhatikan spesifikasi komputer yang digunakan untuk menjalankan program elemen hingga, maka ukuran elemen yang digunakan pada tahap pembebanan adalah 0.86 m dengan jumlah elemen sebanyak 12623 elemen.

Grafik hasil konvergensi model pada model konstruksi dengan *misalignment* dapat dilihat pada Gambar III.19



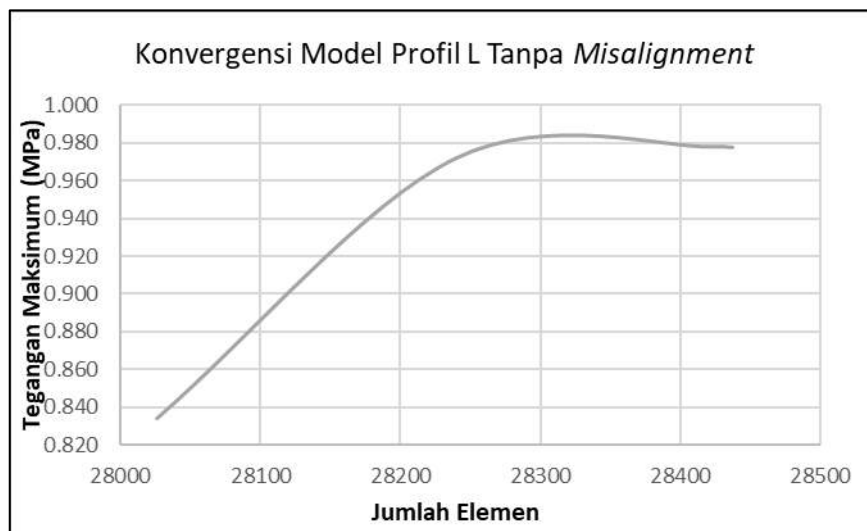
Gambar III.19 Grafik Konvergensi Model *Flatbar* dengan *Misalignment*

Pada Gambar III.19 terlihat bahwa model konstruksi dengan *misalignment* mulai konvergen pada jumlah elemen 13400 elemen sampai seterusnya. Dengan memperhatikan spesifikasi komputer yang digunakan untuk menjalankan *finite element software package*,

maka ukuran elemen yang digunakan pada tahap pembebanan adalah 0.086 m dengan jumlah elemen sebanyak 13382 elemen.

III.3.5. Konvergensi Elemen Model Dengan Penegar Wrang Pelat Berprofil L

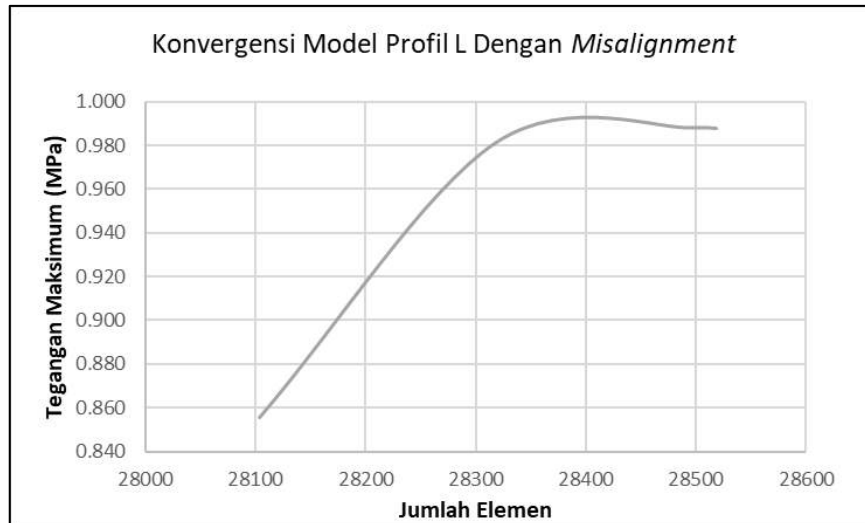
Pada konvergensi elemen model dengan penegar wrang pelat berprofil L, terdapat dua grafik konvergensi yang dihasilkan. Sama dengan proses konvergensi model dengan penegar wrang pelat Berpenegar *Flatbar* , konvergensi elemen model berprofil L dilakukan dengan memberikan beban pada alas dalam sebesar 200000 N, serta memberikan kondisi batas pada kedua *side girder* kiri dan kanan model. Khusus pada penegar wrang pelat, ukuran elemen yang digunakan adalah 0.025 m. Mempertimbangkan spesifikasi komputer yang digunakan, konvergensi model dilakukan pada ukuran elemen mulai dari 0.104 m sampai dengan 0.101 m untuk kedua model. Grafik hasil konvergensi model pada model berprofil L tanpa *misalignment* dapat dilihat pada Gambar III.20.



Gambar III.20 Grafik Konvergensi Model Profil L Tanpa *Misalignment*

Pada Gambar III.20, model konstruksi tanpa *misalignment* konvergen mulai konvergen pada ukuran elemen 0.102 m dengan jumlah elemen sebanyak 28422. Dengan mempertimbangkan spesifikasi komputer yang digunakan untuk menjalankan *finite element software package*, maka ukuran elemen yang digunakan dalam tahap pembebanan adalah 0.102 m dengan jumlah elemen sebesar 28422.

Grafik konvergensi model profil L dengan *misalignment* dapat dilihat pada Gambar III.21



Gambar III.21 Grafik Konvergensi Model Profil L Dengan *Misalignment*

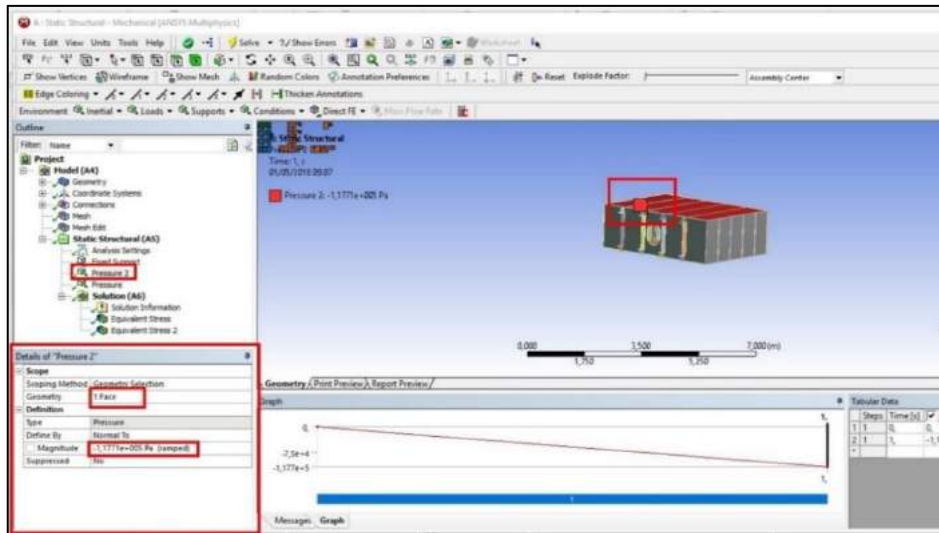
Pada Gambar III.21, model konstruksi tanpa *misalignment* konvergen mulai konvergen pada ukuran elemen 0.102 m dengan jumlah elemen sebanyak 28498. Dengan mempertimbangkan spesifikasi komputer yang digunakan untuk menjalankan *finite element software package*, maka ukuran elemen yang digunakan dalam tahap pembebanan adalah 0.102 m dengan jumlah elemen sebesar 28498.

III.3.6. Pembebanan dan Pembacaan Hasil Tegangan

Berdasarkan sub-bab III.2 mengenai beban pada struktur kapal, beban yang akan diberikan adalah berupa tekanan dengan besar 84.69 kN/m^2 untuk alas dalam kapal dan 99.16 kN/m^2 untuk alas kapal. Kedua beban diberikan pada bagian alas dalam kapal agar tidak terjadi kekeliruan pada *finite element software* dengan memberikan arah tekanan yang berlawanan. Arah tekanan diberikan ke atas (positif sumbu Y) untuk beban alas kapal, sedangkan arah tekanan diberikan ke bawa (negatif sumbu Y) untuk beban alas dalam kapal. Kondisi batas yang digunakan adalah *fixed support* yang diberikan pada kedua *side girder* pada model konstruksi. Pembacaan tegangan dilakukan setelah beban diberikan pada struktur alas dalam kapal serta program dijalankan. Pembacaan tegangan dilakukan pada penegar wrang pelat yang mengalami pembengkokan akibat *misalignment*.

Tahapan pembebanan dan pembacaan tegangan adalah sebagai berikut:

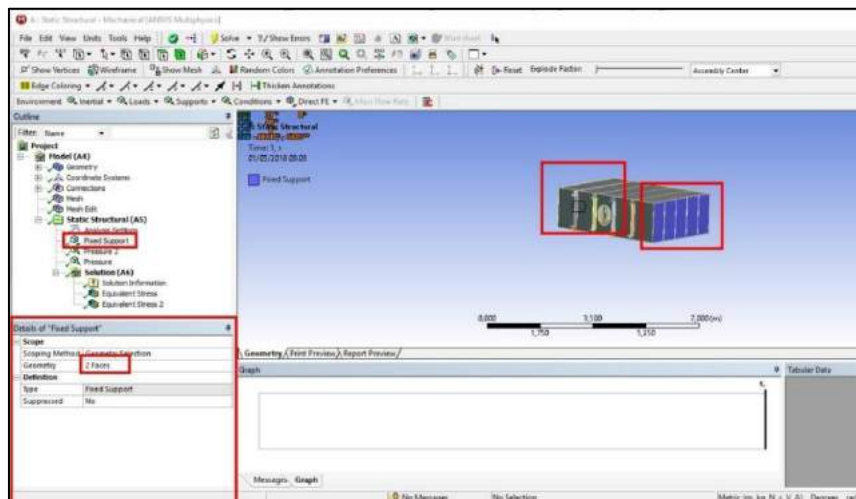
1. Menentukan letak beban, nilai beban, serta arah beban berupa tekanan seperti dalam Gambar III.22. Tahapan ini dilakukan dua kali mengingat terdapat dua beban yang akan diberikan pada model konstruksi yaitu beban pada alas dalam serta beban pada alas kapal.



Gambar III.22 Menentukan Letak, Nilai, Serta Arah Beban

Pada Gambar III.22 menunjukkan penentuan letak, nilai, serta arah beban. Letak beban diaplikasikan pada pelat alas dalam kapal untuk kedua beban agar tidak terjadi eror pada program elemen hingga. Nilai beban telah ditetapkan pada sub-bab sebelumnya mengenai beban pada struktur kapal dan tegangan ijin pada kapal. Arah beban ditentukan dengan menggunakan tanda plus (+) dan minus (-) pada nilai beban. Tanda plus (+) menunjukkan bahwa arah beban ke bawah (ke arah alas kapal), dan sebaliknya untuk tanda (-).

2. Penentuan kondisi batas pada model konstruksi kapal seperti pada Gambar III.23

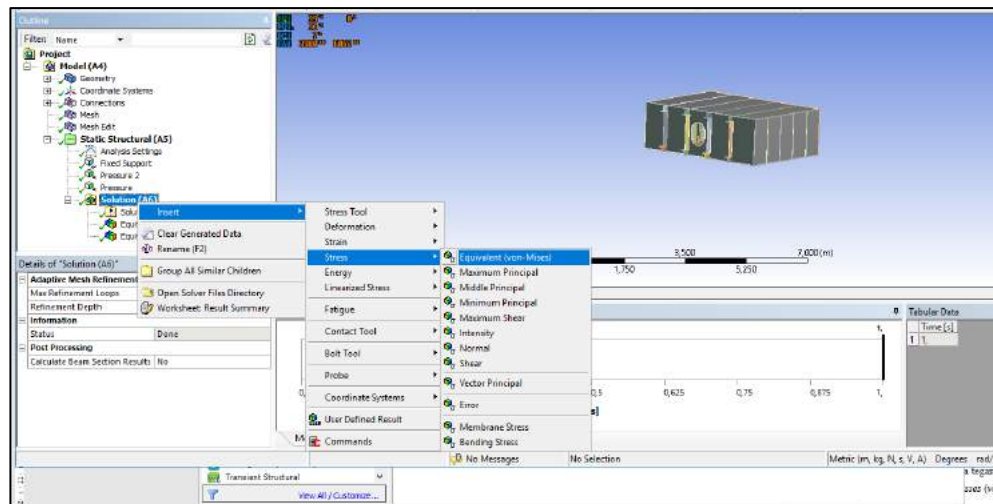


Gambar III.23 Menentukan Kondisi Batas Pada Model Konstruksi Kapal

Pada Gambar III.23, kondisi batas yang digunakan adalah tumpuan jepit (*fixed support*) yang diaplikasikan pada kedua penumpu samping kapal (*side girder*). Kondisi batas

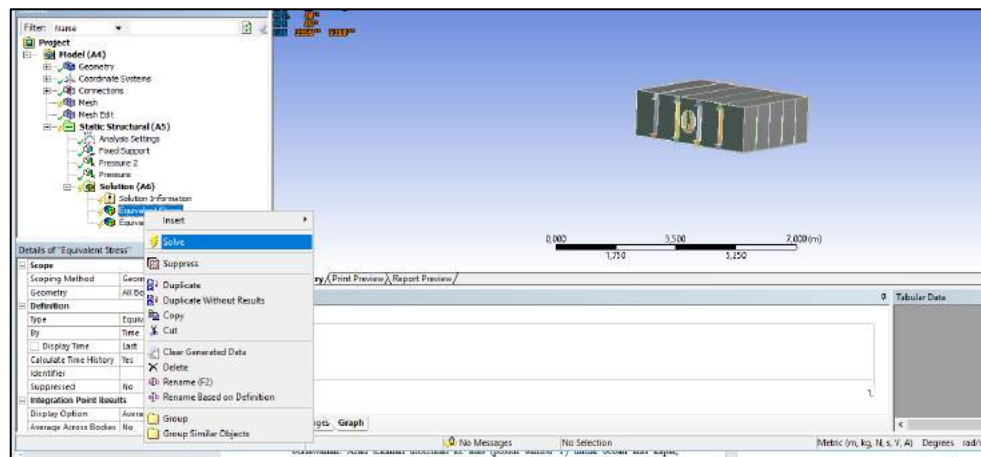
diaplikasikan agar dapat memberikan gambaran pada program elemen hingga, peletakan kondisi batas pada penumpu samping agar tidak terdapat eror dalam program elemen hingga.

3. Mendefinisikan keluaran (*output*) yang diinginkan. Pada tugas akhir ini keluaran yang diinginkan berupa tegangan *von misses*. Dengan demikian keluaran yang didefinisikan adalah tegangan *von misses* (*von misses equivalent stress*). Terlihat pada Gambar III.24



Gambar III.24 Mendefinisikan Keluaran Yang Diinginkan

4. Menjalankan program elemen hingga dan menunggu proses analisis elemen hingga seperti ditunjukkan pada Gambar III.25

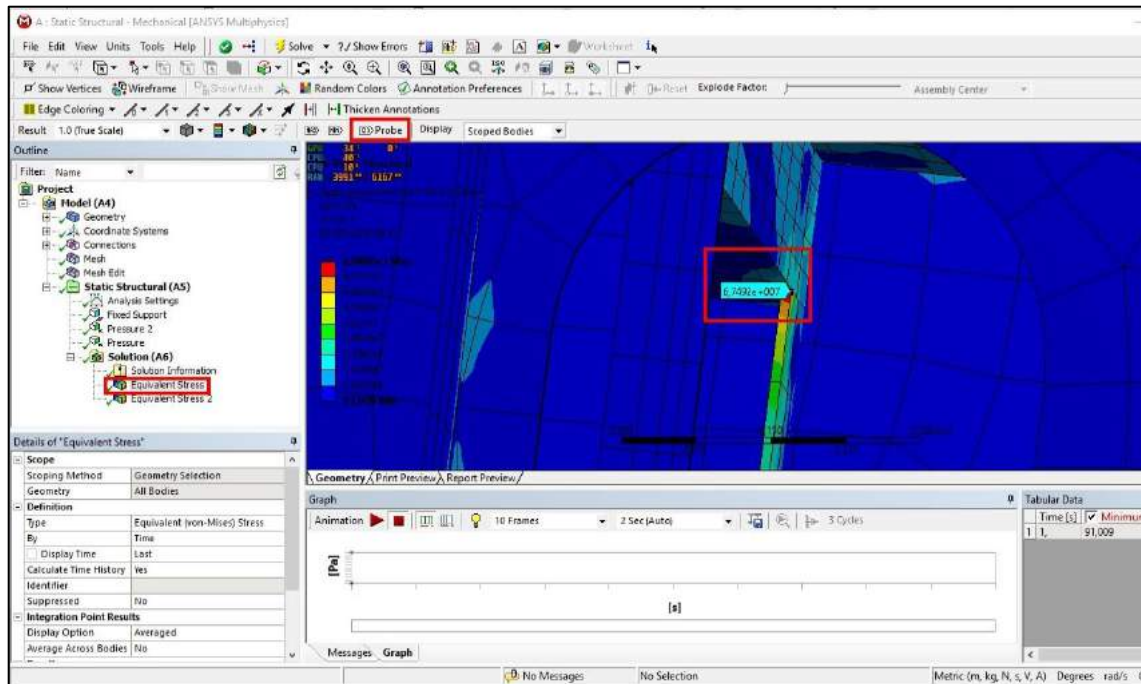


Gambar III.25 Menjalankan Program Elemen Hingga

Pada proses menjalankan program elemen hingga seperti yang ditunjukkan pada Gambar III.25, keadaan komputer harus terpantau dengan baik sehingga tidak ada kelebihan

beban (*overload*) pada komputer, maupun kebocoran atau *leak* pada *random access memory* (RAM) komputer. Pemantauan juga dilakukan pada suhu komponen komputer.

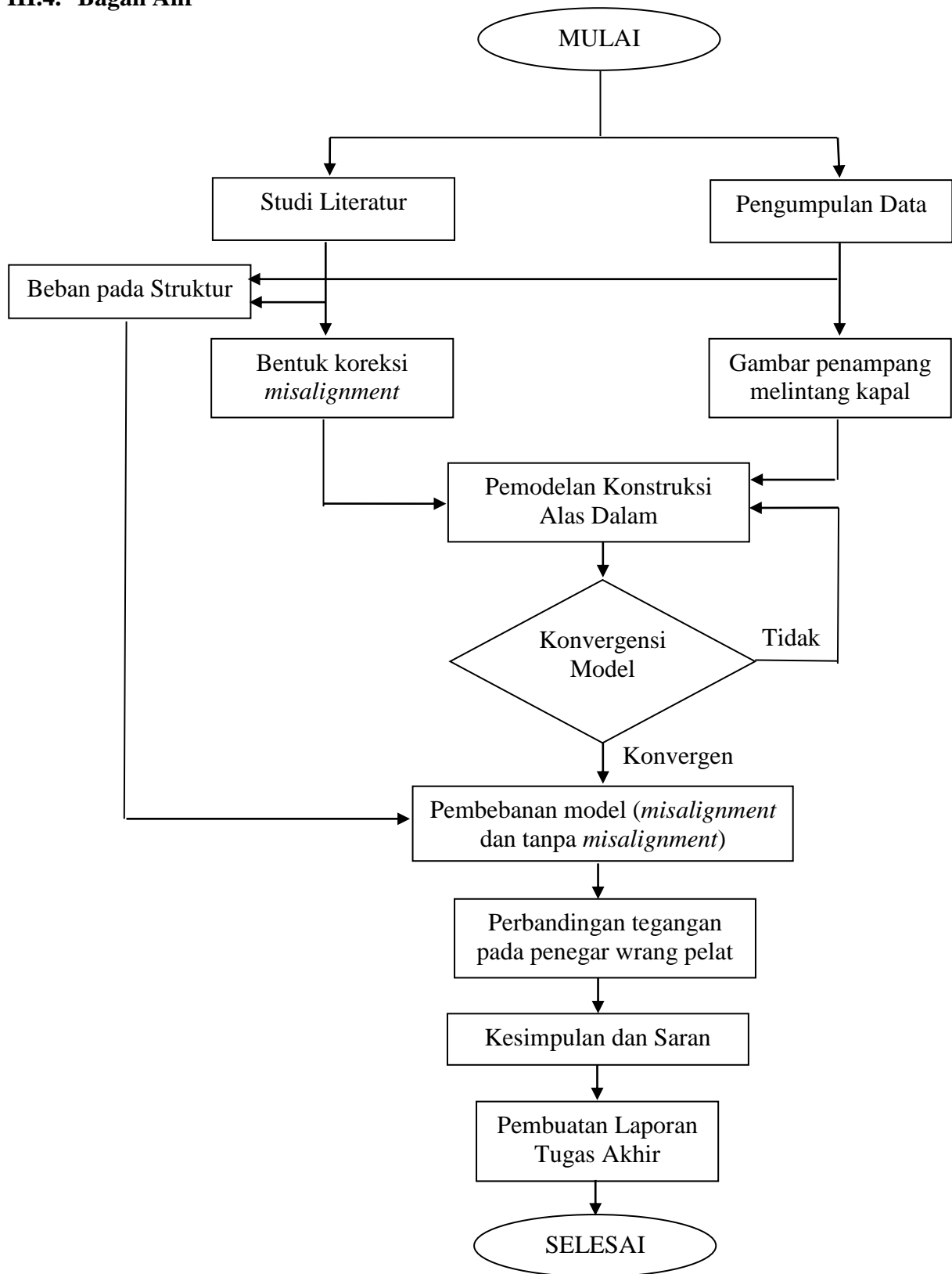
5. Melihat hasil tegangan dengan fitur *probe* untuk melihat tegangan pada titik yang diinginkan seperti pada Gambar III.26



Gambar III.26 Fitur *Probe* Untuk Melihat Tegangan

Pada Gambar III.26 menunjukkan contoh penggunaan fitur *probe* pada program elemen hingga. Fitur *probe* dapat digunakan pada semua bagian model konstruksi. Penggunaan fitur *probe* harus hati-hati agar letak hasil tegangan yang terlihat sesuai dengan yang diinginkan.

III.4. Bagan Alir



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

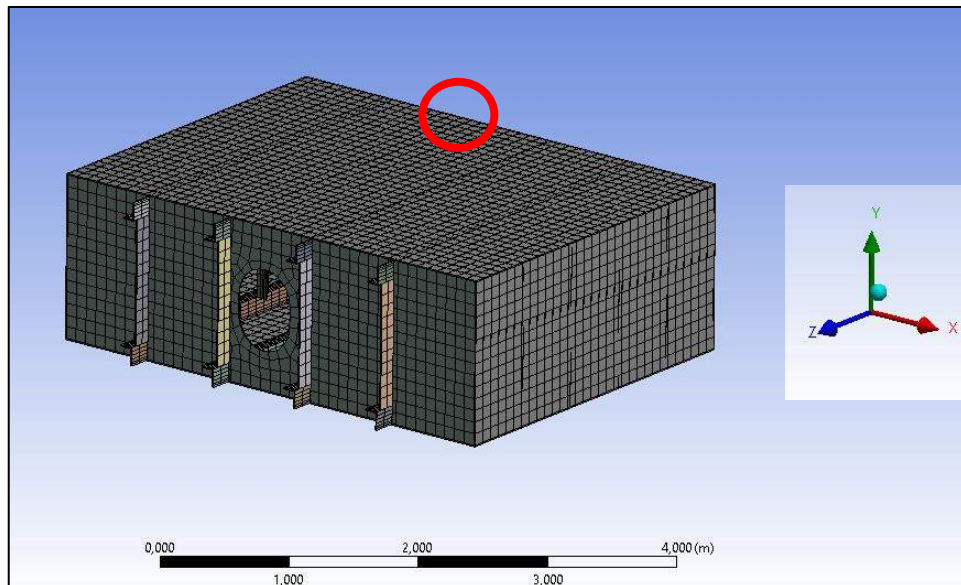
HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Hasil Analisis

Setelah dilakukan simulasi pembebanan oleh *finite element software package*, maka diperoleh hasil berupa tegangan yang terjadi pada penegar wrang pelat yang mengalami pembengkokan akibat *misalignment*.

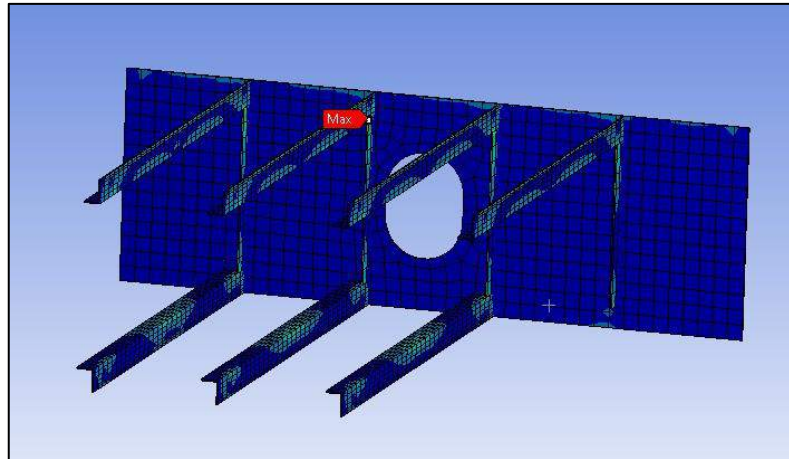
IV.1.1. Model *Flatbar* Tanpa *Misalignment*

Setelah dilakukan pemodelan dan *meshing* pada model *Flatbar* tanpa *misalignment*, maka didapatkan hasil seperti pada Gambar IV.1. Pada Gambar IV.1, beban diaplikasikan pada alas dalam model konstruksi, dan kondisi batas berupa *fixed support* pada sisi kiri dan kanan (*side girder*).



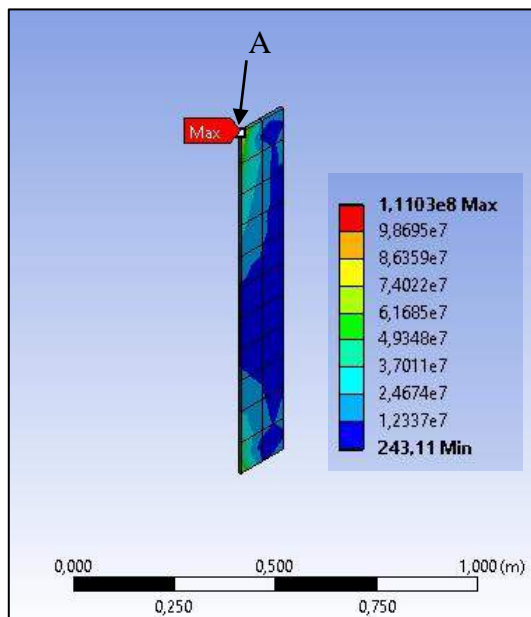
Gambar IV.1 Model *Flatbar* Tanpa *Misalignment*

Pada Gambar IV.1, terlihat model *Flatbar* tanpa *misalignment*. Lingkaran merah pada gambar menunjukkan lokasi tinjau dimana pada model *Flatbar* dengan *misalignment* akan dilakukan pembengkokan penegar wrang pelat. Konstruksi Bagian Dalam model *Flatbar* tanpa *misalignment* terlihat pada Gambar IV.2.



Gambar IV.2 Konstruksi Bagian Dalam Model *Flatbar* Tanpa *Misalignment*

Pada Gambar IV.2, terlihat Konstruksi bagian dalam model dengan beberapa komponen konstruksi tidak diperlihatkan agar titik tinjau menjadi jelas. Tegangan maksimum terlihat pada titik tinjau (sambungan antara pembujur alas dalam dan penegar wrang pelat). Hasil pembacaan pada titik tinjau dapat dilihat pada Gambar IV.3

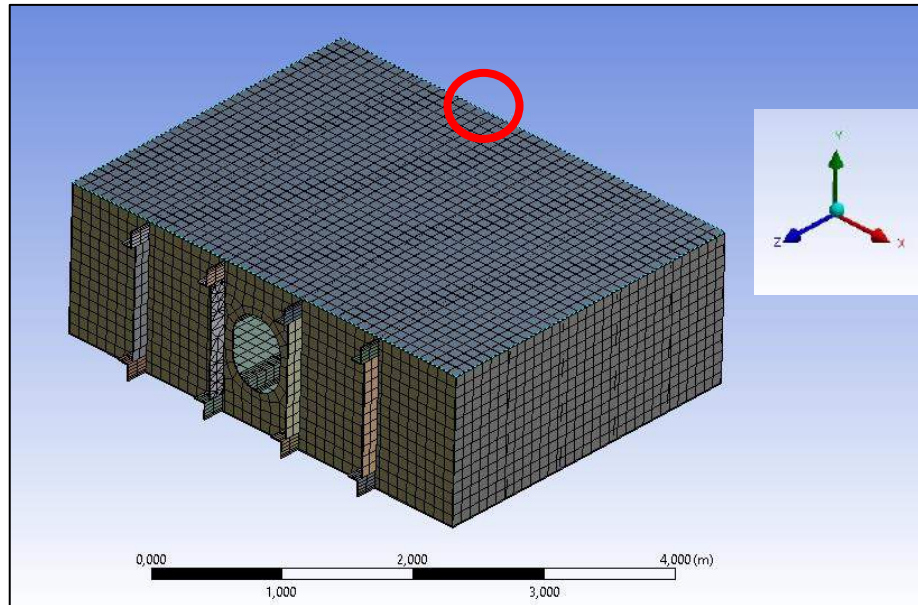


Gambar IV.3 Hasil Pembacaan Tegangan Pada Titik A

Pada Gambar IV.3, tegangan yang terjadi pada titik A sebesar 111.03 MPa. Tegangan maksimum juga terletak pada titik tinjau yaitu pada sambungan antara penegar wrang pelat dengan alas dalam kapal.

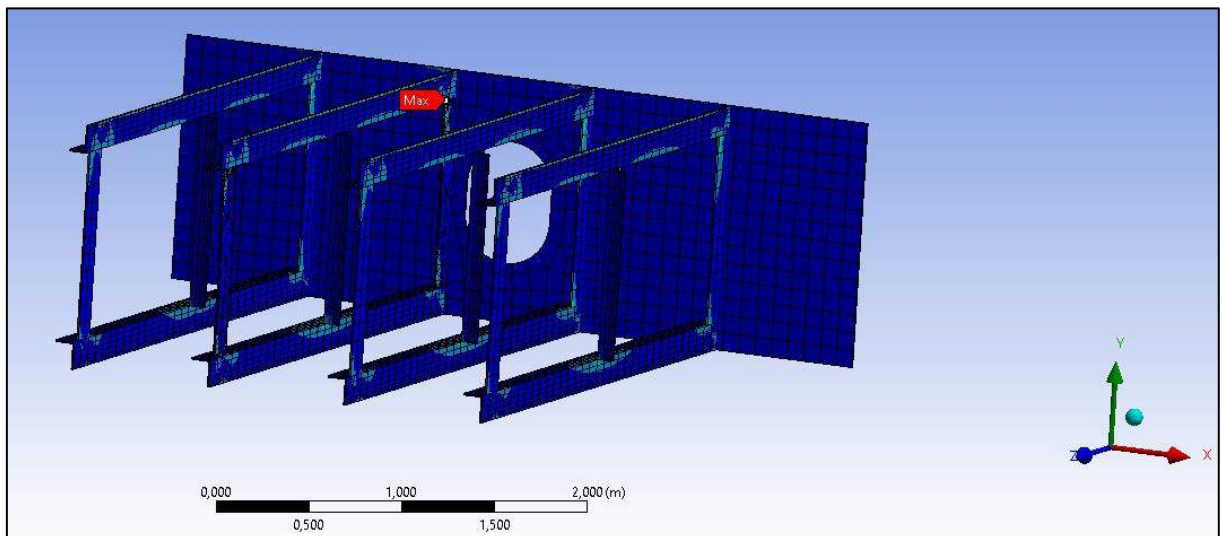
IV.1.2. Model *Flatbar* Dengan *Misalignment*

Setelah dilakukan pemodelan dan *meshing* pada model *Flatbar* dengan *misalignment*, maka didapatkan hasil seperti pada Gambar IV.4. Seperti pada Gambar IV.1, beban diaplikasikan pada alas dalam model konstruksi, dan kondisi batas berupa *fixed support* pada sisi kiri dan kanan (*side girder*).



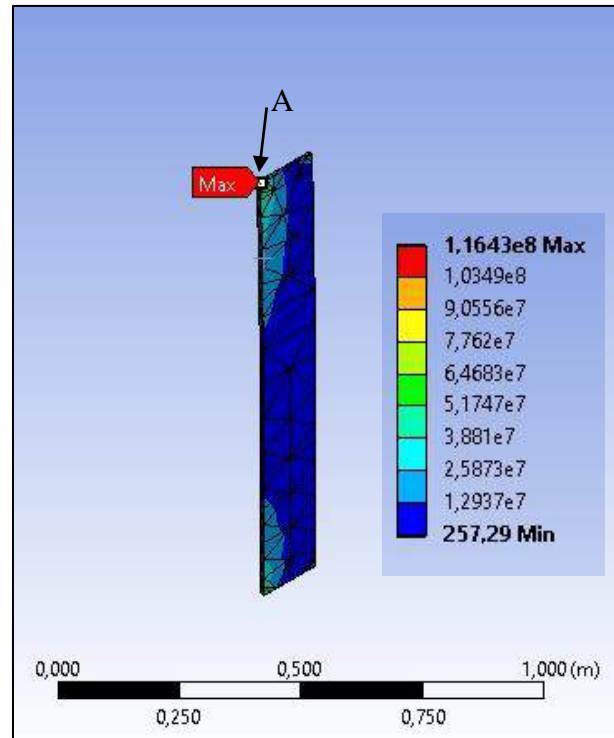
Gambar IV.4 Model *Flatbar* Dengan *Misalignment*

Pada Gambar IV.4, terlihat model *Flatbar* dengan *misalignment*. Lingkaran merah pada gambar menunjukan lokasi tinjau, yaitu letak penegar wrang pelat yang dibengkokkan akibat *misalignment*. Konstruksi Bagian Dalam model *Flatbar* dengan *misalignment* terlihat pada Gambar IV.5.



Gambar IV.5 Konstruksi Bagian Dalam Model *Flatbar* Dengan *Misalignment*

Pada Gambar IV.5, terlihat konstruksi bagian dalam model dengan beberapa komponen konstruksi tidak diperlihatkan agar titik tinjau menjadi jelas. Tegangan maksimum terlihat pada titik tinjau (sambungan antara pembujur alas dalam dengan penegar wrang pelat yang mengalami pembengkokan). Hasil pembacaan pada titik tinjau dapat dilihat pada Gambar IV.6

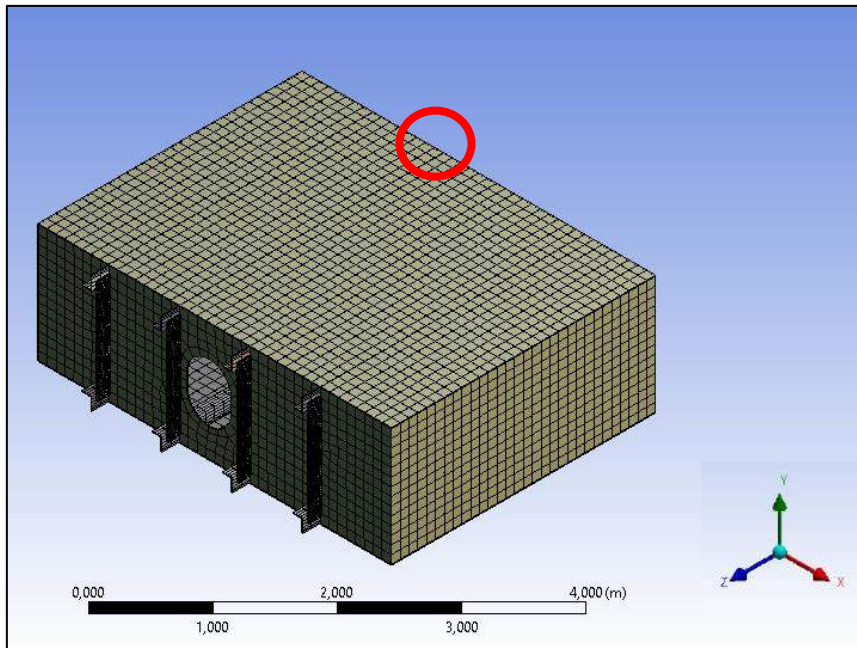


Gambar IV.6 Hasil Pembacaan Tegangan Pada Titik A

Pada Gambar IV.6, tegangan yang terjadi pada titik A sebesar 116.43 MPa. Tegangan maksimum terletak pada titik tinjau, yaitu pada sambungan antara penegar wrang pelat yang dibengkokkan dengan alas dalam kapal.

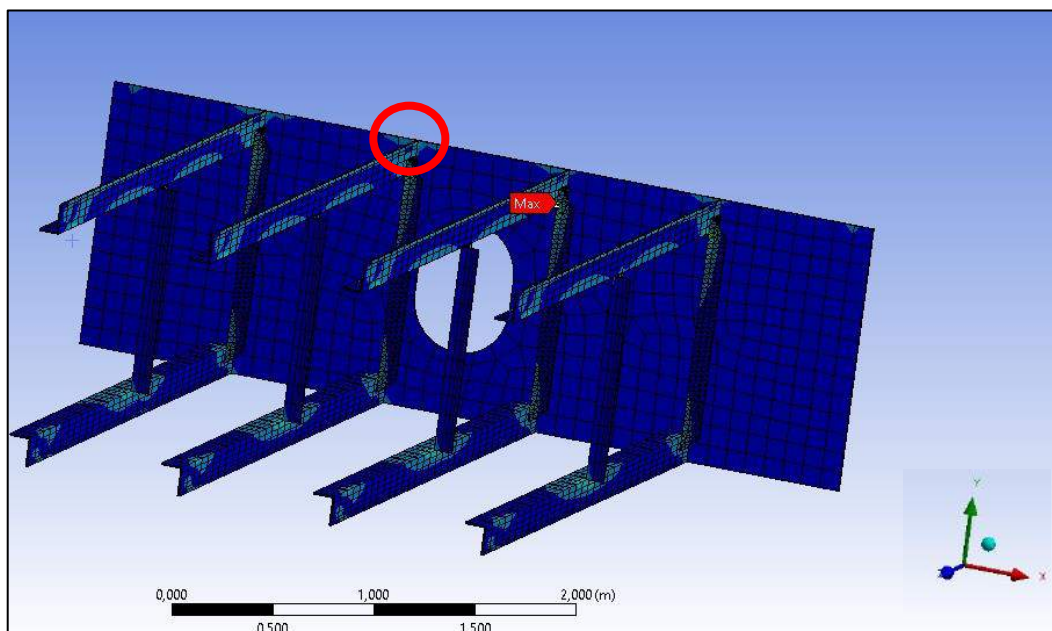
IV.1.3. Model Profil L Tanpa *Misalignment*

Setelah dilakukan pemodelan dan *meshing* pada model *Flatbar* tanpa *misalignment*, maka didapatkan hasil seperti pada Gambar IV.7. Pada Gambar IV.7, beban diaplikasikan pada alas dalam model konstruksi, dan kondisi batas berupa *fixed support* pada sisi kiri dan kanan (*side girder*). Perbedaan pada model profil L dan model *Flatbar* hanya terletak pada penegar wrang pelat yang digunakan.



Gambar IV.7 Model Profil L Tanpa *Misalignment*

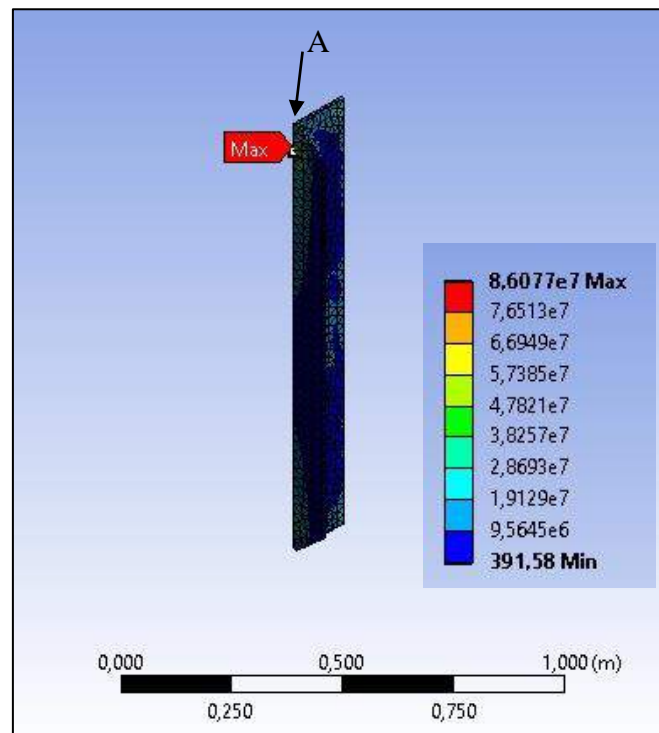
Pada Gambar IV.7, terlihat model profil L tanpa *misalignment*. Lingkaran merah pada gambar menunjukkan lokasi tinjau dimana pada model profil L dengan *misalignment* akan dilakukan pembengkokan penegar wrang pelat. Konstruksi Bagian Dalam model profil L tanpa *misalignment* terlihat pada Gambar IV.8.



Gambar IV.8 Konstruksi Bagian Dalam Model Profil L Tanpa *Misalignment*

Pada Gambar IV.8, terlihat konstruksi bagian dalam model dengan beberapa komponen konstruksi yang tidak diperlihatkan agar titik tinjau menjadi jelas. Lingkaran

merah menunjukkan titik tinjau. Terlihat bahwa tegangan maksimum sistem struktur tidak terletak pada titik tinjau. Hasil pembacaan pada titik tinjau dapat dilihat pada Gambar IV.9

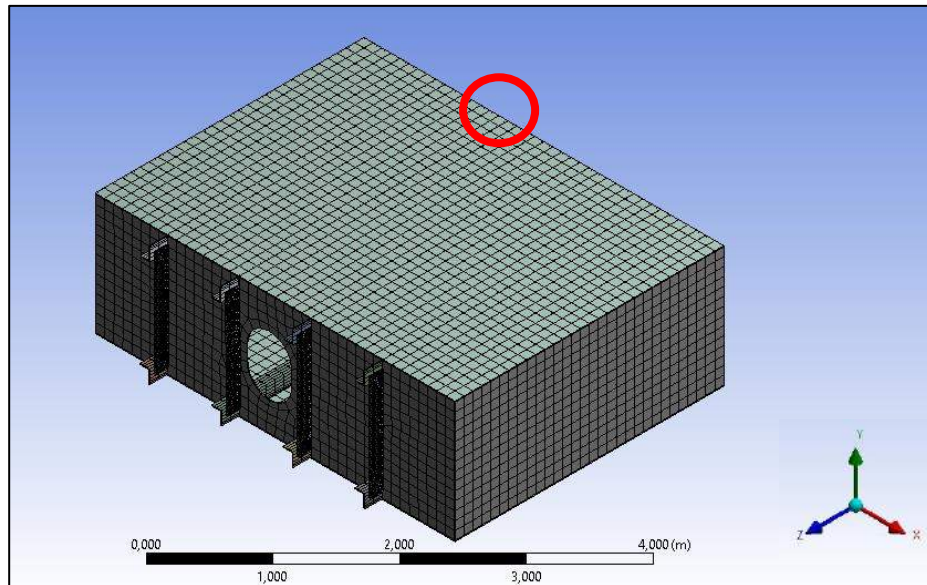


Gambar IV.9 Hasil Pembacaan Tegangan Pada Titik A

Pada Gambar IV.9, diketahui tegangan yang terjadi pada titik A sebesar adalah 86.077 MPa. Pembacaan hasil tegangan dilakukan pada titik sambungan antara penegar wrang pelat dengan pembujur alas dalam karena akan dilakukan pembengkokan di titik tersebut pada model profil L dengan *misalignment*.

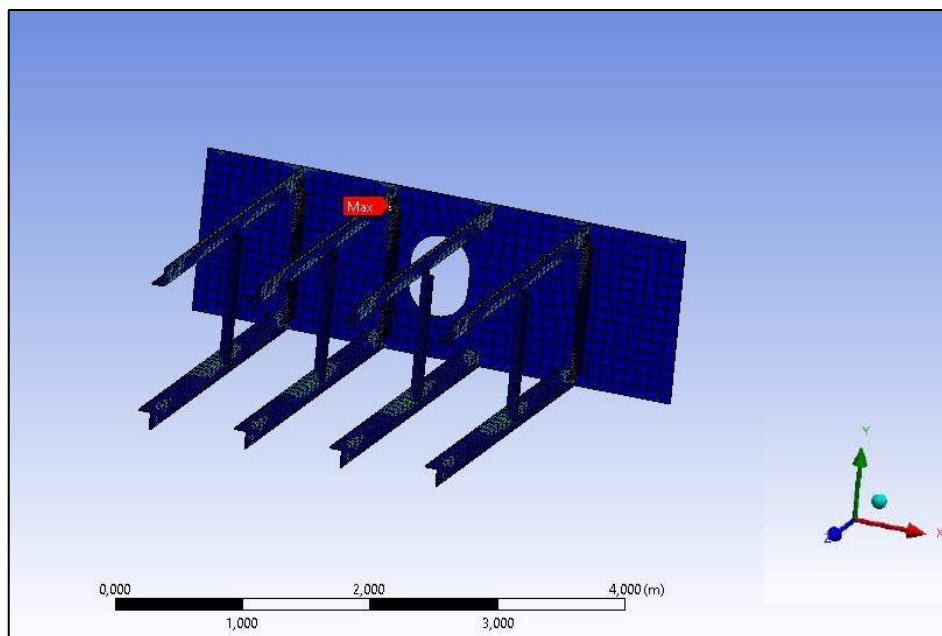
IV.1.4. Model Profil L Dengan *Misalignment*

Setelah dilakukan pemodelan dan *meshing* pada model *Flatbar* dengan *misalignment*, maka didapatkan hasil seperti pada Gambar IV.10. Seperti pada Gambar IV.7, beban diaplikasikan pada alas dalam model konstruksi, dan kondisi batas berupa *fixed support* pada sisi kiri dan kanan (*side girder*). Perbedaan pada Gambar IV.10 dan Gambar IV.7 hanya terletak pada profil L yang dimiringkan akibat *misalignment*. Pada Gambar IV.7 tidak terdapat profil L yang dimiringkan, sedangkan pada Gambar IV.10 terdapat 1 profil L yang dimiringkan akibat *misalignment*.



Gambar IV.10 Model Profil L Dengan *Misalignment*

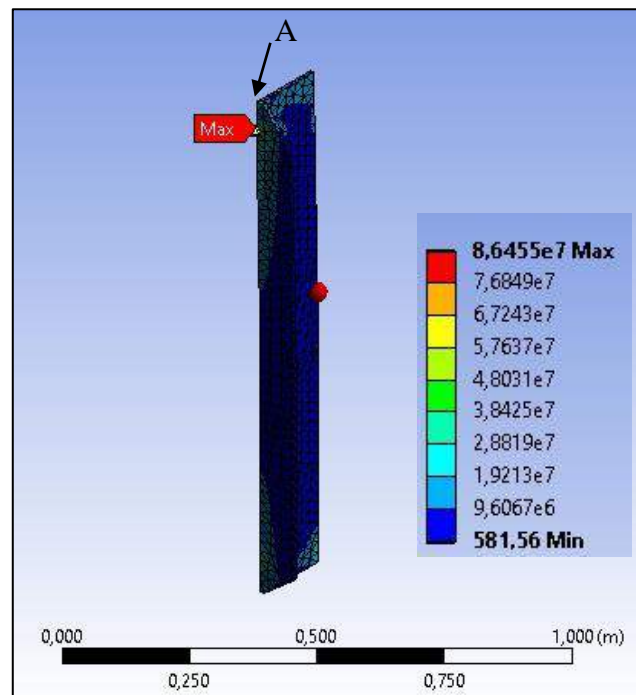
Pada Gambar IV.10, terlihat model profil L dengan *misalignment*. Lingkaran merah pada gambar menunjukkan lokasi tinjau dimana pembengkokan penegar wrang pelat dilakukan. Konstruksi Bagian Dalam model profil L dengan *misalignment* terlihat pada Gambar IV.11.



Gambar IV.11 Konstruksi Bagian Dalam Model Profil L Dengan *Misalignment*

Pada Gambar IV.11, terlihat konstruksi bagian dalam model dengan beberapa komponen konstruksi yang tidak diperlihatkan agar titik tinjau menjadi jelas. Lingkaran

merah menunjukkan titik tinjau. Terlihat bahwa tegangan maksimum sistem struktur tidak terletak pada titik tinjau. Hasil pembacaan pada titik tinjau dapat dilihat pada Gambar IV.12



Gambar IV.12 Hasil Pembacaan Tegangan Pada Titik A

Pada Gambar IV.12, diketahui tegangan yang terjadi pada titik A sebesar 86.455 MPa. Tegangan maksimum terletak sama dengan titik tinjau. Pembacaan hasil tegangan dilakukan pada titik sambungan antara penegar wrang pelat dengan pembujur alas dalam (titik pertama pembengkokan akibat *misalignment*).

IV.2. Perbandingan Hasil Analisis Pada Model *Flatbar*

Hasil yang didapatkan pada sub-bab sebelumnya menunjukkan bahwa pada model konstruksi alas dalam dengan wrang pelat berpenegar *Flatbar*, kejadian tanpa *misalignment* menghasilkan tegangan sebesar 111.03 MPa, sedangkan kejadian dengan *misalignment* menghasilkan tegangan sebesar 116.43 MPa. Kedua hasil tegangan terletak pada titik yang sama dan merupakan tegangan maksimum pada model struktur. Perbandingan dalam bentuk tabel dapat terlihat pada Tabel IV.1.

Tabel IV.1 Perbandingan Tegangan Pada Model *Flatbar*

No	Keterangan	Tegangan (MPa)
1	Model Tanpa <i>Misalignment</i>	111.03
2	Model Dengan <i>Misalignment</i>	116.43

Pada Tabel IV.1, terlihat bahwa perbedaan tegangan sebesar 5.4 MPa dengan peningkatan tegangan terjadi bila penegar wrang pelat mengalami pembengkokan akibat *misalignment*. Peningkatan tegangan yang terjadi pada penegar wrang pelat *Flatbar* yang mengalami pembengkokan akibat *misalignment* sebesar 4.864%. Dengan peningkatan tegangan bila dilakukan pembengkokan akibat *misalignment* sebesar 5.4 MPa atau 4.864%, tegangan yang dihasilkan sebesar 116.43 MPa tetap berada di bawah tegangan ijin yaitu sebesar 230 MPa.

IV.3. Perbandingan Hasil Analisis Pada Model Profil L

Pada model konstruksi alas dalam dengan wrang pelat berpenegar profil L, kejadian tanpa *misalignment* menghasilkan tegangan sebesar 86.077 MPa, sedangkan kejadian dengan *misalignment* menghasilkan tegangan sebesar 86.455 MPa. Kedua hasil tegangan terletak pada titik yang sama dan bukan merupakan tegangan maksimum pada model struktur. Perbandingan dalam bentuk tabel dapat terlihat pada Tabel IV.2.

Tabel IV.2 Perbandingan Tegangan Pada Model Profil L

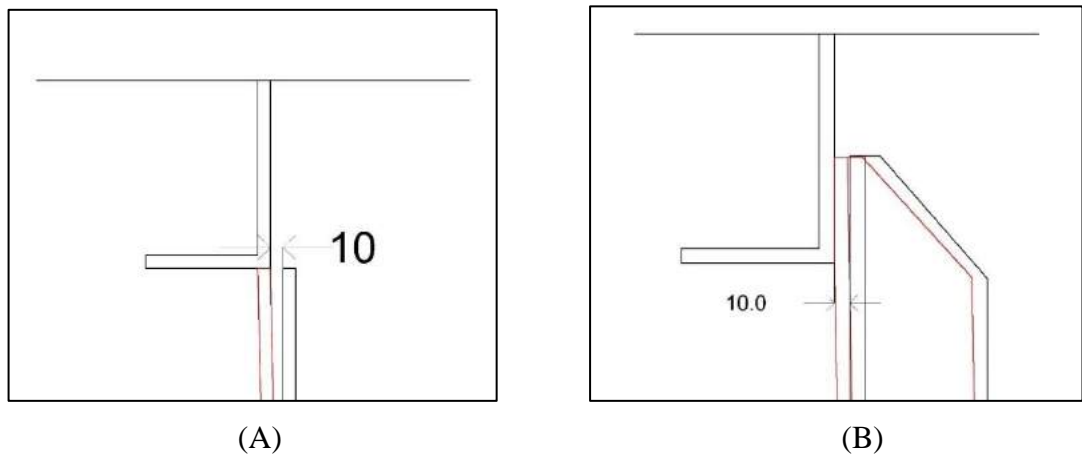
No	Keterangan	Tegangan (MPa)
1	Model Tanpa <i>Misalignment</i>	86.077
2	Model Dengan <i>Misalignment</i>	86.455

Pada Tabel IV.2, terlihat bahwa perbedaan tegangan sebesar 0.378 MPa dengan peningkatan tegangan terjadi bila penegar wrang pelat mengalami pembengkokan akibat *misalignment*. Peningkatan tegangan yang terjadi pada penegar wrang pelat profil L yang mengalami pembengkokan akibat *misalignment* sebesar 0.439%. Dengan peningkatan tegangan bila dilakukan pembengkokan akibat *misalignment* sebesar 0.378 MPa atau 0.439%, tegangan yang dihasilkan sebesar 86.455 MPa tetap berada di bawah tegangan ijin yaitu sebesar 230 MPa.

IV.4. Perbandingan Hasil Analisis Pada Model *Flatbar* Dengan Model Profil L

Peningkatan tegangan yang terjadi pada penegar wrang pelat *flatbar* yang dibengkokkan akibat *misalignment* adalah 5.4 Mpa atau 4.864% sedangkan pada penegar wrang pelat berprofil L yang dibengkokkan akibat *msalignment* adalah 0.378 Mpa atau 0.439%. Perbedaan peningkatan tegangan yang terjadi pada model dengan *flatbar* dengan model berprofil L diakibatkan oleh pelat *face* yang ada pada penegar wrang pelat dengan profil L. Walaupun

dengan momen inersia terhadap *neutral axis* dan modulus profil sepadan namun keberadaan pelat *face* pada penegar wrang pelat berprofil L mempengaruhi luas penampang melintang profil, yaitu 18.8 cm³ pada *flatbar* dan 24 cm³ pada profil L. Selain luas penampang melintang profil, peletakan sambungan antara penegar wrang pelat dengan pembujur alas dalam juga berbeda. Pada penegar wrang pelat dengan profil L, sambungan antara penegar wrang pelat dengan pembujur alas dalam tidak terletak pada pelat *face* pembujur alas dalam namun terletak pada pelat bilah pembujur alas dalam. Pada penegar wrang pelat dengan *flatbar*, sambungan antara penegar wrang pelat dengan pembujur alas dalam terletak pada pelat *face* pembujur alas dalam. Kedua detail sambungan terlihat pada Gambar IV.13 dengan garis merah menunjukkan penegar wrang pelat yang telah dibengkokan akibat adanya *misalignment* sedangkan garis hitam menunjukkan penegar wrang pelat yang belum dibengkokan dan terjadi *misalignment*.



Gambar IV.13 Gambar Detail Sambungan *Flatbar* (A) dan Sambungan Profil L (B)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan simulasi perhitungan menggunakan program elemen hingga dari 4 variasi model yaitu model *Flatbar* tanpa *misalignment*, model *Flatbar* dengan *misalignment*, model profil L tanpa *misalignment*, serta model profil L dengan *misalignment*, maka kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada model dengan *Flatbar* pada penegar wrang pelat, menghasilkan nilai tegangan sebesar 116.43 MPa pada kejadian pembengkokan penegar wrang pelat akibat *misalignment* sejauh 10 mm, sedangkan tanpa kejadian pembengkokan akibat *misalignment* menghasilkan nilai tegangan sebesar 111.03 MPa.
2. Pada model dengan profil L pada penegar wrang pelat, menghasilkan nilai tegangan sebesar 86.455 MPa pada kejadian pembengkokan penegar wrang pelat akibat *misalignment* sejauh 10 mm, sedangkan tanpa kejadian pembengkokan akibat *misalignment* menghasilkan nilai tegangan sebesar 86.077 MPa.
3. Pada model dengan *Flatbar* pada penegar wrang pelat, peningkatan tegangan sebesar 5.4 MPa atau sebesar 4.864%. Tegangan yang dihasilkan tidak melewati tegangan ijin menurut BKI yaitu 230 MPa.
4. Pada model dengan profil L pada penegar wrang pelat, peningkatan tegangan sebesar 0.378 MPa atau sebesar 0.439%. Tegangan yang dihasilkan tidak melewati tegangan ijin menurut BKI yaitu 230 MPa.
5. Peningkatan tegangan terbesar terjadi pada model dengan wrang pelat berpenegar *flatbar* yaitu 4.864%, nilai tegangan terbesar terjadi pada model dengan wrang pelat *flatbar* dengan *misalignment* yaitu 116.43 MPa.
6. Dengan perbedaan peningkatan tegangan yang terjadi antara wrang pelat berpenegar profil L dengan wrang pelat berpenegar *flatbar*, maka profil L lebih menguntungkan secara kekuatan sebagai penegar wrang pelat karena pada kasus pembengkokan akibat *misalignment*, profil L memiliki peningkatan tegangan yang lebih kecil dibanding *flatbar*.

V.2. Saran

Berdasarkan metodologi, hasil, serta kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini, maka terdapat beberapa saran yang didapatkan, yaitu:

1. Melanjutkan penelitian berupa perhitungan umur struktur akibat kelelahan atau *fatigue* diperlukan sebagai tindak lanjut dari peningkatan tegangan yang terjadi pada sambungan antara penegar wrang pelat dan pembujur alas dalam.
2. Penggunaan Profil L sebagai penegar wrang pelat lebih disarankan karena memiliki tegangan yang lebih kecil dengan peningkatan tegangan yang lebih kecil akibat pembengkokan pada kasus *misalignment*.

DAFTAR PUSTAKA

- Biro Klasifikasi Indonesia. (2005). *Analysis Techniques Strength*. Biro Klasifikasi Indonesia.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2014). *Rules for The Classification and Construction Part 1 Seagoing Ships Volume II Rules For Hull*. Biro Klasifikasi Indonesia.
- Logan, Daryl L. (1992). *A First Course in The Finite Element Method*. C.L. Engineering.
- Roylance, David. (2001). *Transformation of Stresses and Strains*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology
- Gere & Timoshenko. (2000). *Mekanika Bahan Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- International Association of Classification Societies. (2010). *Recommendation No. 47 Shipbuilding and Repair Quality Standard*. International Association of Classification Societies.
- Paik & Hughes. (2010). *Ship Structural Analysis and Design*. Society of Naval Architecture and Marine Engineers.
- Jong & Springer. (2009). Lecture Handout. *Teaching Von Misses Stress: From Principal Axes To Nonprincipal Axes*. Arkansas: University of Arkansas.
- Liu et al. (2016). *Misalignment Effect on Stress Concentration of Thickness Mismatched Plate Structures*. 21st European Conference on Fracture. Catania
- NAFEMS. *The Importance of Mesh Convergence – 1*. Retrieved April 26 2018, from NAFEMS website: www.nafems.org.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2017). *Rules for Classification And Construction Part 1 Seagoing Ships Volume V Rules For Materials*. Biro Klasifikasi Indonesia
- Misbah, M. Nurul & Rudin, Q. Anwar. (2012). Analisis *Fatigue Life* Struktur Akibat *Misalignment* Pada Sambungan Pelat. *Jurnal Teknik POMITS*.
- Yulianto, T., Sujiatanti, S. Hardy, & Sanjaya, D. Dwi. (2017). Analisis Kekuatan Konstruksi *Wing Tank* Kapal Tanker Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik POMITS Vol 6 No. 2*.

- Sujiatanti, S. Hardy, Setyawan, & D., Ardianus. (2017). Analisis Kekuatan Konstruksi Sekat Melintang Kapal Tanker dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik POMITS Vol 6 No. 2*.
- Imron, A., & Putranto, T. (2012). Analisis Pengaruh Variasi Jarak Gading Terhadap Lenturan dan Tegangan Pada Pelat Sisi dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik POMITS Vol 1 , No. 1*.
- Yulianto, T., Suastika, I. Ketut, & Chabibi, E. (2013). Analisa Tegangan Pada *Cross Deck* Kapal Ikan Katamaran 10 GT Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik POMITS Vol 2 No. 1*.

LAMPIRAN

Lampiran A Perhitungan Pembebanan Pada Alas Dalam Kapal

Lampiran B Perhitungan Pembebanan Pada Alas Kapal

Lampiran C Konvergensi Model

Lampiran D Gambar Penampang Melintang Kapal

Lampiran E Perbandingan Modulus Profil L dan *Flatbar*

LAMPIRAN A
PERHITUNGAN PEMBEBANAN PADA ALAS DALAM KAPAL

PRINCIPLE DIMENSIONS		
SHIP TYPE	OIL TANKER	
LENGTH OVER ALL (Loa)	114.4	m
LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS	110	m
BREADTH (B)	20	m
HEIGHT (H)	10.4	m
DRAUGHT (T)	8	m
SERVICE SPEED (Vs)	14	Knots
COMPLEMENT	24	Persons

Panjang Scantling (L)

Panjang L adalah jarak pada garis air muat dari linggi haluan ke belakang kemudi atau garis sumbu tongkat kemudi jika tidak ada linggi kemudi. Dimana tidak boleh kurang dari 96% LWL dan tidak perlu lebih besar dari 97% LWL.

Diketahui :

$$L_{wl} = L_{wl} = 114.4 \text{ m}$$

$$L_{pp} = 110.00 \text{ m}$$

Maka :

$$96\%$$

$$L_{wl} = 109.824 \text{ m}$$

$$97\%$$

$$L_{wl} = 110.968 \text{ m}$$

Sehingga :

$$L = 110.00 \text{ m}$$

BEBAN EKSTERNAL

$$p_0 = 2.1 \cdot (c_B + 0.7) \cdot c_0 \cdot c_L \cdot f \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$p_{01} = 2.6 \cdot (c_B + 0.7) \cdot c_0 \cdot c_L \quad [\text{kN/m}^2]$$

$$c_B = 0.716$$

$$c_{RW} = 0.90 \quad ; \text{untuk pelayaran Lokal}$$

$$f = 1.00 \quad \text{untuk pelat kulit, geladak cuaca}$$

$$f = 0.75 \quad \text{untuk gading biasa, balok geladak}$$

$$f = 0.60 \quad \text{Untuk Gading Besar, Senta, Penumpu}$$

$$c_L = 1.00 \quad L \geq 90\text{m}$$

$$c_0 = (10.75 - ((300 - L)/100)1.5) c_{RW} ; \text{ untuk } 90 \leq L \leq 300 \text{ m}$$

$$= 7.318$$

maka:

$p_0 =$	$2.1 \times (0.72 + 0.7) \times 7.318 \times 1.00 \times 1.00$				for plate panels of the outer hull
$=$	21.761	kN/m ²			
$p_0 =$	$2.1 \times (0.72 + 0.7) \times 7.318 \times 1.00 \times 0.75$				for secondary stiffening members of the
$=$	16.320	kN/m ²			

					outer hull
p0 =	2.1 x (0.72 + 0.7) x 7.318 x 1.00 x 0.60				for girders and girders system of the outer hull
=	13.056	kN/m ²			
p01 =	2.6 x (0.72 + 0.7) x 7.318 x 1				
=	26.942	kN/m ²			

Inner Bottom Longitudinals

daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$

Beban pada alas dalam kapal dihitung berdasarkan formula:

$$p_i = \frac{9.81 \cdot (G/V) \cdot h \cdot (1 + a_v)}{[kN/m^2]}$$

G = berat muatan dalam ruang muat (berat terbesar)
 [Ton]
 V = volume ruang muat
 [m³]

Untuk Kapal Product Oil Tanker yang muatannya diesel oil adalah :

$$\begin{aligned}
 G/V &= 0.842 \\
 h_{DB} &= 1.33 \quad m \\
 h &= \text{tinggi permukaan teratas cargo diatas alas dalam} \\
 &= H - h_{db} \\
 &= 9.07 \quad m \\
 m &= 1.00 \\
 m_o &= 1.63
 \end{aligned}$$

sehingga :

$$\begin{aligned}
 p_i &= \frac{9.81 \times 0.84 \times 9.07 \times (1 + 0.13)}{[kN/m^2]} \\
 &= 84.69 \quad kN/m^2
 \end{aligned}$$

Sehingga, beban pada alas dalam adalah 84.69 kN/m²

LAMPIRAN B
PERHITUNGAN PEMBEBANAN PADA ALAS KAPAL

PRINCIPLE DIMENSIONS		
SHIP TYPE	OIL TANKER	
LENGTH OVER ALL (Loa)	114.4	m
LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS	110	m
BREADTH (B)	20	m
HEIGHT (H)	10.4	m
DRAUGHT (T)	8	m
SERVICE SPEED (Vs)	14	Knots
COMPLEMENT	24	Persons

Panjang Scantling (L)

Panjang L adalah jarak pada garis air muat dari linggi haluan ke belakang kemudi atau garis sumbu tongkat kemudi jika tidak ada linggi kemudi. Dimana tidak boleh kurang dari 96% LWL dan tidak perlu lebih besar dari 97% LWL.

Diketahui :

$$L_{wl} = \begin{matrix} L_{wl} = 114.4 & \text{m} \\ L_{pp} = 110.00 & \text{m} \end{matrix}$$

Maka :

$$\begin{matrix} 96\% \\ L_{wl} = 109.824 & \text{m} \\ 97\% \\ L_{wl} = 110.968 & \text{m} \end{matrix}$$

Sehingga :

$$L = 110.00 \text{ m}$$

BEBAN EKSTERNAL

$$\begin{aligned} p_0 &= 2,1 \cdot (c_B + 0,7) \cdot c_0 \cdot c_L \cdot f & [\text{kN/m}^2] \\ p_{01} &= 2,6 \cdot (c_B + 0,7) \cdot c_0 \cdot c_L & [\text{kN/m}^2] \\ c_B &= 0.716 \\ c_{RW} &= 0.90 & \text{; untuk pelayaran Lokal} \\ f &= 1.00 & \text{untuk pelat kulit, geladak cuaca} \\ f &= 0.75 & \text{untuk gading biasa, balok geladak} \\ f &= 0.60 & \text{Untuk Gading Besar, Senta, Penumpu} \\ c_L &= 1.00 & L \geq 90\text{m} \\ c_0 &= (10.75 - ((300 - L)/100)1,5) c_{RW} ; \text{ untuk } 90 \leq L \leq 300 \text{ m} \\ &= 7.318 \end{aligned}$$

maka:

$p_0 =$	$2.1 \times (0.72 + 0.7) \times 7.318 \times 1.00 \times 1.00$			for plate panels of the outer hull
$=$	21.761	kN/m^2		
$p_0 =$	$2.1 \times (0.72 + 0.7) \times 7.318 \times 1.00 \times 0.75$			for secondary stiffening members of the outer hull
$=$	16.320	kN/m^2		
$p_0 =$	$2.1 \times (0.72 + 0.7) \times 7.318 \times 1.00 \times 0.60$			for girders and

=	13.056	kN/m ²			girders system of the outer hull	
p01 =	2.6 x (0.72 + 0.7) x 7.318 x 1					
=	26.942	kN/m ²				

Bottom Longitudinals

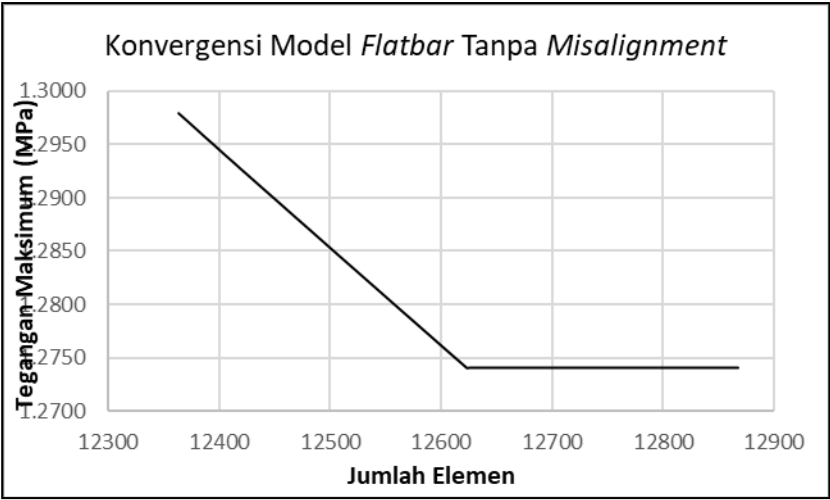
$$\begin{aligned}
 & 10 \cdot T + p_0 \cdot cF \\
 pB &= \\
 pB1 &= 10 \cdot T + p01 \cdot 2 I_y I / B \\
 & \text{dimana :} \\
 p0 &= 16.3 \text{ kN/m}^2 \\
 p01 &= 26.94 \text{ kN/m}^2 \\
 cF &= 1.000 \\
 & \text{(longitudinal} \\
 y &= 6.40 \text{ m} \text{ terluar)} \\
 & 10 \times 8.000 + 16.320 \times \\
 pB &= 1.000 \\
 & 96.32 \text{ kN/m}^2 \\
 & 10 \times 8.000 + 26.942 \times 2 \times 6.400 / \\
 pB1 &= 20.000 \\
 & 99.16 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Diambil yang terbesar, maka beban yang diambil adalah pB1

Sehingga, beban pada alas adalah 99.16 kN/m²

LAMPIRAN C
KONVERGENSI MODEL

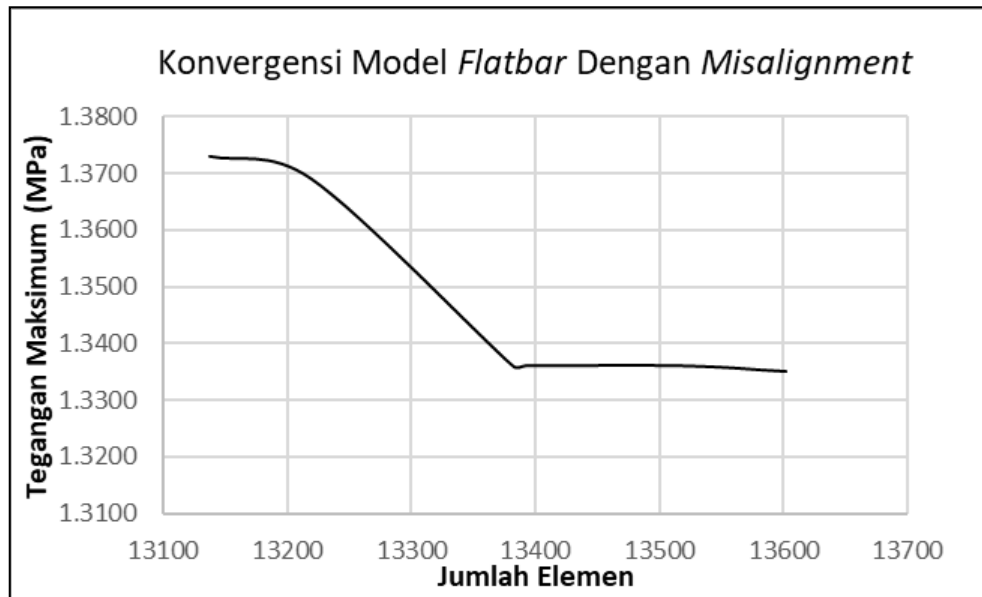
1. Konstruksi Alas Dalam Dengan Penegar Wrang Pelat *Flatbar* Tanpa *Misalignment*



Jumlah Elemen	Element Size	Max Stress (10 ⁸ Pa)
12363	0.088	1.298
12438	0.087	1.291
12623	0.086	1.274
12625	0.0858	1.274
12752	0.856	1.274
12868	0.085	1.274

Ukuran elemen yang digunakan adalah 0.086 m.

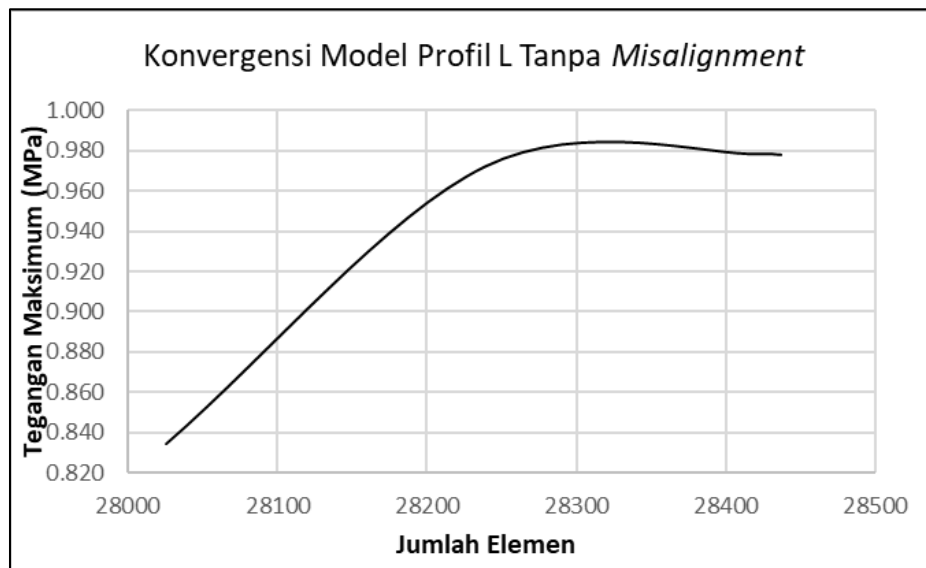
2. Konstruksi Alas Dalam Dengan Penegar Wrang Pelat *Flatbar* Dengan *Misalignment*



Jumlah Elemen	Element Size	Max Stress (10 ⁸ Pa)
13138	0.088	1.373
13220	0.087	1.369
13382	0.086	1.336
13392	0.0858	1.336
13519	0.856	1.336
13602	0.085	1.335

Ukuran elemen yang digunakan adalah 0.086 m.

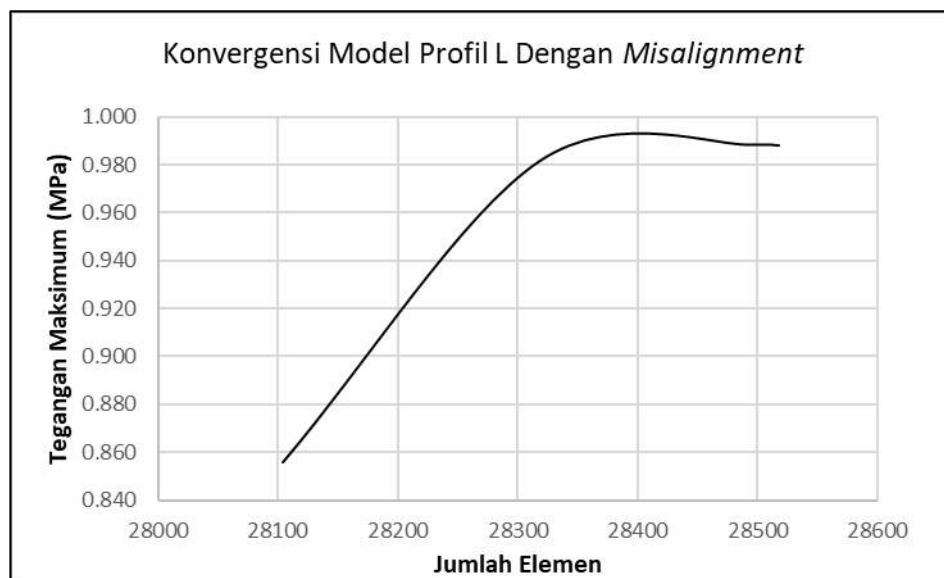
3. Konstruksi Alas Dalam Dengan Penegar Wrang Pelat Profil L Tanpa *Misalignment*



Jumlah Elemen	Element Size	Max Stress
28026	0.104	0.834
28239	0.103	0.972
28422	0.102	0.978
28437	0.101	0.978

Ukuran elemen yang digunakan adalah 0.102 m.

4. Konstruksi Alas Dalam Dengan Penegar Wrang Pelat Profil L Dengan *Misalignment*



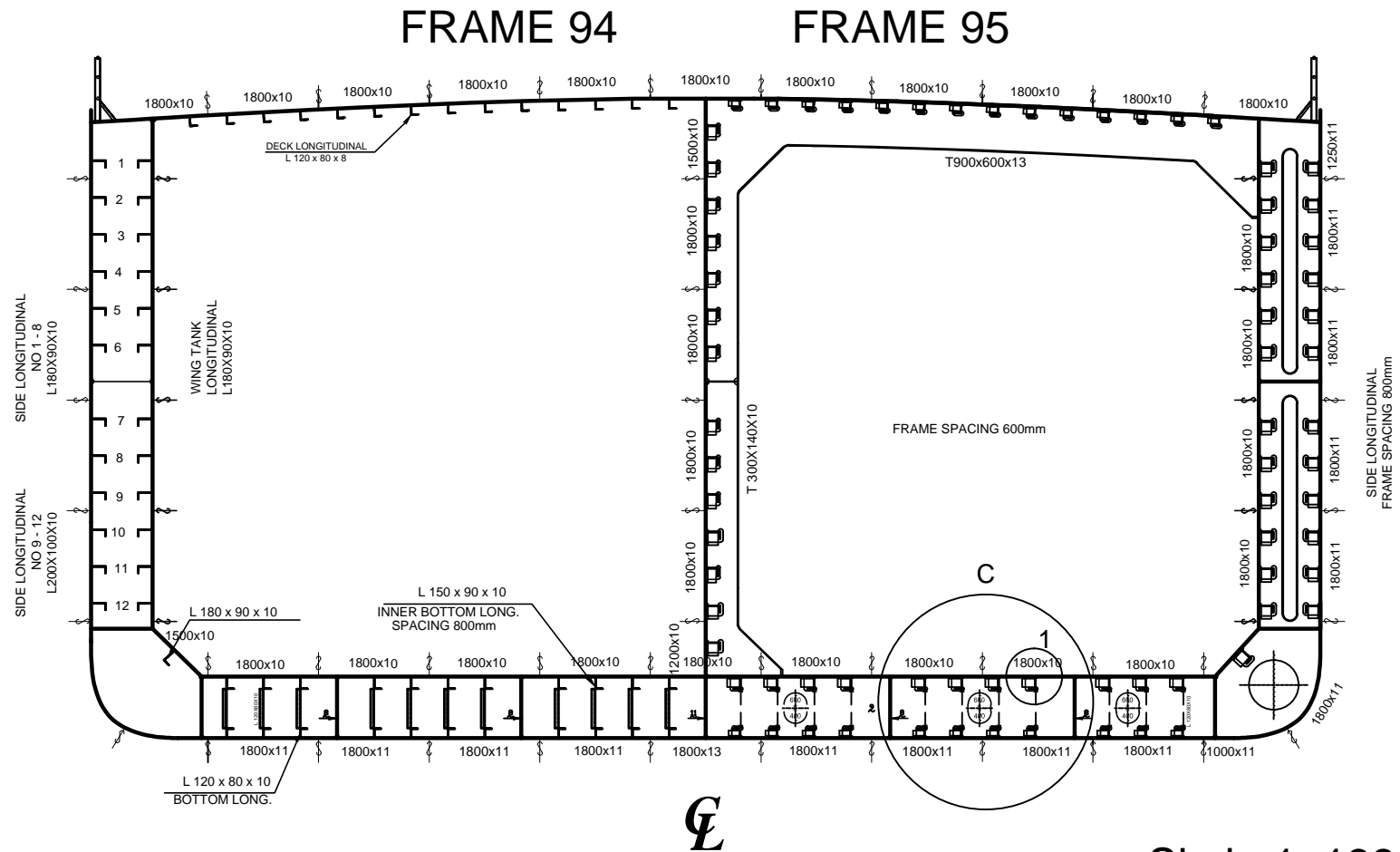
Jumlah Elemen	Element Size	Max Stress (10^8 Pa)
28104	0.104	0.856
28318	0.103	0.981
28498	0.102	0.988
28518	0.101	0.988

Ukuran elemen yang digunakan adalah 0.102 m.

LAMPIRAN D

GAMBAR PENAMPANG MELINTANG KAPAL

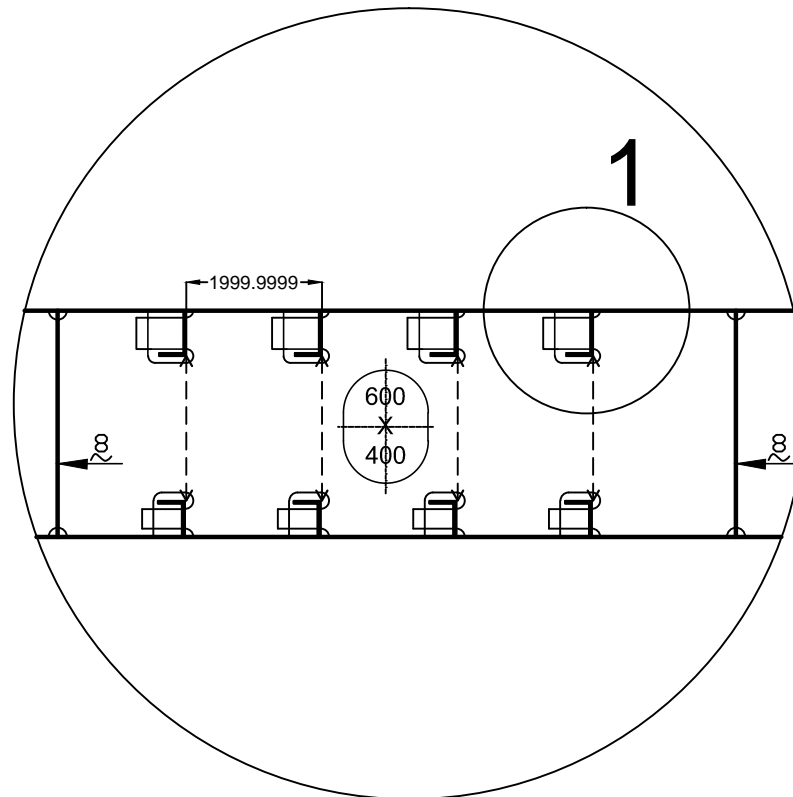
MIDSHIP SECTION



Skala 1: 133.333

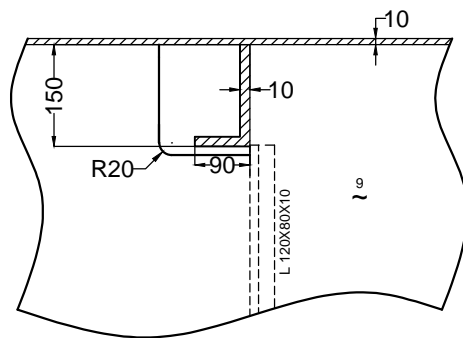
C

Skala 1:25



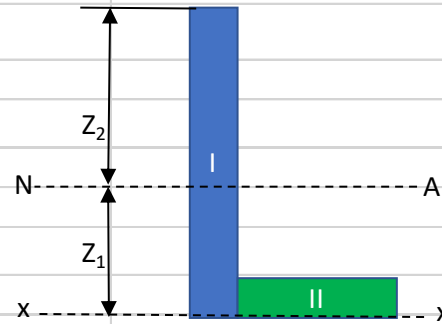
Detail 1

1:10



LAMPIRAN E
PERBANDINGAN MODULUS PROFIL L DAN *FLATBAR*

Profil L

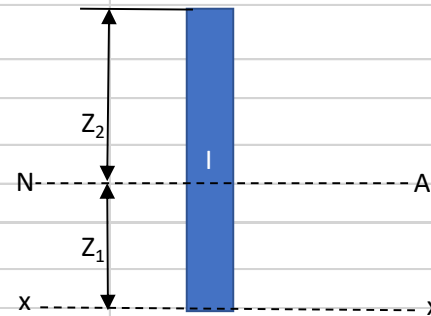


	horizontal (h)	vertical (v)	Area of cross section (F)	Distance of center Gravity (d)	Moment of Area (F.d)	Moment of Inertia (F.d ²)	Individual moment of inertia (1/12 h.v ³)
I	1	15	15	7.5	112.5	843.75	281.25
II	9	1	9	0.5	4.5	2.25	0.75
Σ =			24		117	846	282
	Z ₁ =	4.875 cm					
	Z ₂ =	10.125 cm					
	I _{xx} =	1128 cm ⁴					
	I _{NA} =	557.625 cm ⁴					
	W ₁ =	114.3846 cm ³					
	W ₂ =	55.07407 cm ³					
				diambil W = 55.07407 cm ³			

Dimensi Profil:

L 150 x 90 x 10

Flatbar



	horizontal (h)	vertical (v)	Area of cross section (F)	Distance of center Gravity (d)	Moment of Area (F.d)	Moment of Inertia (F.d ²)	Individual moment of inertia (1/12 h.v ³)
I	1	18.8	18.8	9.4	176.72	1661.168	553.7226667
Σ =			18.8		176.72	1661.168	553.7226667
Z ₁ =		9.4 cm					
Z ₂ =		9.4 cm					
I _{xx} =		2214.891 cm ⁴					
I _{NA} =		553.7227 cm ⁴					
W ₁ =		58.90667 cm ³					
Target							
W =		55.07407 cm ³					

Dimensi Profil:

FB 188 x 10

BIODATA PENULIS



Robertus Bimo Pamungkas Sukoco dilahirkan di Bekasi, 7 April 1997. Penulis menempuh pendidikan formal mulai SD Santo Markus 1 Jakarta, SMP Marsudirini Cawang, SMAN 81 Jakarta. Setelah lulus SMA melewati jalur akselerasi, penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2014.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi kepala Departemen Media dan Informasi Kreatif HIMATEKPAL 2016/2018 serta kepala Departemen *Player* UKM Musik ITS 2016/2017. Selan itu, Penulis juga pernah menjadi juri dalam acara musik internal Diploma Sipil ITS.

Email: sukocorobertus@gmail.com